

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACION DE LA APLICACIÓN DE DIVERSOS SOLVENTES EN LA  
OBTENCIÓN DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE COROBA  
(ATTALEA MACROLEPIS)”**

**REALIZADO POR:**

**GUTIRREZ MAZA XIOMARA MILAGROS  
ZAPATA BARRERA JAIGIMAR DEL COROMOTO**

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito  
parcial para optar al título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**Barcelona, Agosto de 2011**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACION DE LA APLICACIÓN DE DIVERSOS SOLVENTES EN LA  
OBTENCIÓN DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE COROBA  
(ATTALEA MACROLEPIS)”**

**ASESORES**

---

Lic. Quím. Rafael Alemán.  
Asesor académico

Barcelona, Agosto de 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EVALUACION DE LA APLICACIÓN DE DIVERSOS SOLVENTES EN LA  
OBTENCIÓN DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE COROBA  
(ATTALEA MACROLEPIS)”**

**JURADOS**

---

Lic. Quím. Rafael Alemán  
Asesor académico

---

Ing. Quím. Alexis Cova MSc.  
Jurado principal

---

Ing. Quím. Justa Rodríguez MSc.  
Jurado principal

Barcelona, Agosto de 2011

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

***“Los trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.***

## DEDICATORIA

## **AGRADECIMIENTO**

## RESUMEN

Se realizó la extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de semilla de coroba. La extracción se llevó a cabo por medio del método Soxhlet, con el uso de tres solventes diferentes acetona, hexano y éter de petróleo, seleccionados por sus propiedades no polares y solubilidad con los lípidos presente en las semillas. Los aceites obtenidos se sometieron a análisis para determinar el índice de acidez, índice de peróxido e índice de yodo, los resultados no mostraron diferencias significativas entre el aceite extraído con los diferentes solventes. El índice de acidez promedio para la acetona arrojó como resultado 0,31117, para el hexano y éter de petróleo 0,3235 y 0,3059 respectivamente, siendo estos resultados estadísticamente semejantes entre si de acuerdo con el método del ANOVA. De la misma forma al aceite extraído se le realizó una cromatografía de gases, para determinar el perfil de ácidos grasos encontrándose ácido láurico en mayor proporción, para la acetona se obtuvo 42,2% mientras que para el hexano y éter de petróleo se obtuvo 35,8% y 36,6% respectivamente, lo que permitió inferir que la acetona posee mayor afinidad por los ácidos grasos de cadenas más cortas, debido a que en el caso de los ácidos grasos de cadenas medianamente largas hubo mayor arrastre por parte de hexano y éter de petróleo, el mismo fenómeno se pudo observar al hacer la comparación con la extracción del aceite de la semilla de neem por medio del método Soxhlet con el uso de hexano y éter de petróleo.

## CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN.....	vii
CONTENIDO.....	viii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Antecedentes.....	3
2.2 Fundamentos de grasas y aceites.....	4
2.2.1 Los aceites y las grasas.....	4
2.2.2 Los lípidos.....	4
2.2.3 Clasificación de los lípidos.....	4
2.2.3.1 Lípidos no polares.....	5
2.2.3.2 Lípidos polares.....	8
2.2.3.3 Lípidos insaponificables.....	12
2.3 Solventes.....	14
2.3.1 Clasificación de los solventes.....	15
2.3.1.1 Solventes polares.....	15
2.3.1.2 Solventes apolares.....	15
2.3.1.3 Solventes orgánicos.....	16
2.3.2 Polaridad de un Solvente.....	16
2.3.2.1 Constante dieléctrica y momento dipolar.....	17
2.3.2.2 Polaridad de enlace.....	18
2.3.2.3 Características de los disolventes: próticos-apróticos.....	20
2.3.3 Acetona.....	21
2.3.4 Éter de petróleo.....	22
2.3.4.1 Variedades del éter de petróleo.....	23
2.3.5 Hexano.....	24
2.4 Método de extracción.....	25
2.4.1 Extracción con solvente químico.....	25
2.4.1.1 Extracción por el método Bligh & Dyer.....	26
2.4.1.2 Método de extracción Soxhlet.....	26
2.4.1.3 Extracción mediante fluidos supercríticos.....	27
2.4.1.4 Autoclavado.....	29
2.4.1.5 Destrucción mecánica.....	29

2.5 Palma Coroba .....	29
2.5.1 Características del fruto de la Coroba .....	31
2.5.1.1 Cabezal .....	31
2.5.1.2 Epicarpio o concha .....	31
2.5.1.3 Mesocarpio o pulpa .....	32
2.5.1.4 Endocarpio o cascara .....	32
2.5.1.5 Almendra o semilla .....	33
2.5.2 Ubicación de la palma coroba .....	34
2.5.3 Producción artesanal del aceite de semilla de coroba .....	34
2.6 Extracción y producción a escala industrial de aceites comestibles .....	36
2.6.1 Preparación de la materia prima .....	36
2.6.2 Extracción .....	37
2.6.3 Refinado .....	37
2.7 Análisis químicos del aceite .....	38
2.7.1 Acidez Libre e Índice de Acidez .....	38
2.7.2 Índice de peróxido .....	40
2.7.3 Índice de saponificación .....	41
2.7.4 Índice de Yodo .....	42
2.7.4 Cromatografía de gases .....	43
2.8 Análisis estadísticos .....	44
2.8.1 Análisis de varianza la distribución F .....	44
2.8.2 Mínima diferencia significativa .....	48
CAPÍTULO III .....	49
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	49
3.1 Procedimiento experimental .....	49
3.1.1 Preparación de la muestra .....	50
3.1.2 Extracción del aceite mediante la aplicación del método Soxhlet (Planta Piloto). Determinación del tiempo de extracción .....	50
3.1.3 Extracción del aceite mediante la aplicación del método Soxhlet (montajes de laboratorio) .....	51
3.1.4 Caracterización fisicoquímica de cada uno de los aceites extraídos .	52
3.1.4.1 Preparación de la muestra de aceite .....	52
3.1.4.2 Determinación del índice de acidez .....	52
3.1.4.3 Determinación del índice de peróxido .....	53
3.1.4.5 Determinación del Índice de Yodo por el método de Wijs .....	53
3.1.4.6 Determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases .....	54
3.1.5 Análisis estadístico de caracterización fisicoquímica de cada uno de los aceites extraídos .....	56
3.2 Descripción de equipos, materiales y sustancias .....	57
3.2.1 Equipos .....	57
3.2.2 Materiales .....	57
3.2.3 Sustancias .....	58

3.3	Tabla de datos .....	59
3.4	Muestra de cálculo.....	64
3.4.1	Porcentaje de Rendimiento.....	65
3.4.2	Análisis fisicoquímico de los aceites extraídos.....	65
3.4.2.1	Acidez libre e Índice de acidez.....	65
3.4.2.2	Índice de peróxido.....	66
3.4.3	Porcentaje de eficiencia del método Soxhlet.....	66
3.4.4	Cálculos estadísticos .....	67
3.4.3.1	Análisis del ANOVA para el índice de acidez .....	67
3.4.3.2	Análisis del ANOVA para el índice de peróxido.....	71
3.4.3.3	Análisis ANOVA para el rendimiento de los aceites extraído .....	74
CAPITULO IV .....		78
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
4.1	Análisis de resultados.....	78
4.1.1	Porcentaje de Rendimiento en la obtención del aceite y Eficiencia del Método Soxhlet. ....	78
4.1.2	Características fisicoquímicas de los aceites extraídos .....	80
4.1.2.1	Índice de acidez .....	81
4.1.2.2	Índice de peróxido.....	81
4.1.2.3	Índice de yodo.....	82
	Índice de acidez .....	83
	Índice de acidez .....	86
4.1.3	Perfil de ácidos grasos de aceite de semilla de Coroba.....	87
4.1.4	Rentabilidad y comparación de costo de los solventes extractores utilizados .....	94
4.2	Conclusiones .....	96
4.3	Recomendaciones .....	97
BIBLIOGRAFIA.....		99
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO		104

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Los aceites de origen vegetal tienen un gran campo de aplicación en diferentes industrias tales como la alimenticia, cosméticos, mecánicos, etc. Existen diferentes métodos para extraer estos aceites tales como prensados, extracción líquido-sólido, extracción por solvente o combinando estos últimos, etc. Cada método de estos presenta diferentes ventajas y cada exigencia industrial necesita que la materia oleosa tenga determinadas características.

En el caso de una extracción utilizando solvente existen varios productos tales como el hexano, acetona, éter de petróleo, acetato de etilo, etc. que son utilizados ampliamente, teniendo sus propias características fisicoquímicas que se adaptan a las propiedades de cada materia oleosa en cuestión, aunque el factor rendimiento es de gran influencia al momento de seleccionar un determinado solvente.

Desde el año 2000 en el Departamento de Ingeniería Química del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente se vienen realizando investigaciones sobre la palma Coroba (*Attalea macrolepis*) y su potencial oleífero. En Venezuela en el municipio Cedeño del estado Bolívar, específicamente en la región de Caicara del Orinoco, tiene origen la palma de Coroba (*Attalea macrolepis*), patrimonio cultural y potencial fuente de desarrollo sustentable debido a las bondades que proporcionan los diversos derivados que se generan de su fruto. Este tiene un peso promedio entre 30 – 40 gramos de los cuales el 22% corresponde al mesocarpio o pulpa que es la fracción comestible utilizada como materia prima en la elaboración artesanal de arepas y natillas.

A partir de sus semillas, se extrae un aceite por método artesanal, usando agua caliente, para luego ser utilizado como aderezo de las comidas y otros usos, formando parte de la costumbre culinaria de la región. Al nivel de laboratorio se extrae el aceite utilizando hexano como solvente según el método Soxhlet, el cual consiste en pasar el solvente por la muestra varias veces hasta extraer todo el aceite. También se ha utilizado el dióxido de carbono en condiciones supercríticas (**Vera, Brito, 2003**).

Como aporte al conocimiento sobre este método, resulta interesante conocer el uso de otros solventes y evaluar la influencia de ellos sobre el rendimiento, la composición y las propiedades químicas de los aceites extraídos. Pues esto le servirá a la industria para la toma de decisiones en cuanto al tipo de solvente a utilizar. En la actualidad, en Venezuela existe una gran dependencia del exterior con respecto al material graso para uso comestible e industrial. Para el año 2005 se importó más de 400 mil toneladas de aceites y grasas vegetales, de las cuales más de 62 mil toneladas correspondieron a la importación de aceite crudo y refinado de palma y palmiste, por lo que actualmente hay un gran déficit. Es por ello que se plantea la necesidad de incorporar otras fuentes oleaginosas naturales que contribuyan a fortalecer la soberanía agroalimentaria y a su vez implementar nuevas alternativas para la extracción de estos aceites.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar la aplicación de diversos solventes en la obtención del aceite de la semilla Coroba (*Attalea macrolepis*).

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Extraer el aceite de la palma de la Coroba utilizando acetona, hexano y éter de petróleo.
2. Calcular el rendimiento del aceite para cada solvente utilizado.
3. Determinar la acidez y el índice de peróxido de los aceites obtenidos.
4. Obtener el perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos.
5. Comparar las características de los aceites obtenidos en función de los solventes utilizados.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

En el 2000, Bastardo y Zorrilla (**Bastardo, Zorrilla, 200**), realizaron un estudio del aceite del mesocarpio de la Coroba, para su posterior análisis y refinamiento a través de métodos físicos y químicos, con el fin de demostrar que este posee características fisicoquímicas que permiten considerarlas como una fuente potencial para la industria de las oleaginosas y alimentarias.

En el 2000, Pino y Jiménez (**Pino, Jiménez, 2000**), estudiaron la caracterización fisicoquímica del aceite crudo y refinado de la semilla de la coroba, extrajeron el aceite empleando el método de lixiviación con n-hexano. Finalmente se indicó que puede ser considerado como un potencial sustituto de los aceites de coco y palmiste. En el 2003, Vera y Brito (**Vera, Brito, 2003**), realizaron una extracción supercrítica del aceite del mesocarpio de la coroba utilizando dióxido de carbono como solvente, y la caracterización fisicoquímica del extracto con el propósito de comparar y establecer diferencias con respecto al mismo aceite obtenido por el método Soxhlet, mediante cromatografía de gases y a través de un estudio estadístico de bloques aleatorios, no se obtuvieron diferencias significativas entre los productos extraídos por los métodos mencionados.

En el 2003, Marín y Moreno (**Marín, Moreno, 2003**), estudiaron la estabilidad del aceite de la almendra del fruto de la palma de Coroba, a través de la caracterización fisicoquímica al aceite mediante la determinación del grado de acidez e índice de peróxido a diferentes temperaturas; y observando la cinética y el efecto de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción de oxidación, se determinó que el aceite de la almendra de la palma de coroba es bastante estable con respecto al tiempo, en cuanto a las características propias de un aceite comestible.

En el 2004 Olivier (**Oliver, 2004**), obtuvo el aceite de la almendra del fruto empleando como solvente CO<sub>2</sub> en condiciones supercríticas. Determinó la composición proximal de la semilla así como la caracterización fisicoquímica del aceite. Utilizando la cromatografía de gases se determinó que el ácido graso predominante es el láurico. El

aceite extraído en condiciones supercríticas permitió la obtención del aceite de almendra de Coroba con mejores características fisicoquímicas en comparación con el aceite extraído con hexano.

Al igual que los estudios ya realizados, el presente trabajo se basará en la extracción del aceite de la semilla de la Coroba usando el método Soxhlet, para ello se emplearan tres solventes hexano, acetona y éter de petróleo. Las investigaciones anteriormente expuestas brindan un punto de referencia a la hora de la caracterización fisicoquímica del aceite a obtener así como también comparar los diferentes métodos utilizados.

## **2.2 Fundamentos de grasas y aceites**

### **2.2.1 Los aceites y las grasas**

Los aceites y las grasas son sustancias de origen vegetal o animal, que consiste predominantemente en mezclas de éteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir triglicéridos. En general el término grasa se usa para hacer referencia sobre los materiales sólidos, a la temperatura ordinaria; mientras que el término aceite se refiere a lo que son líquidos en las mismas condiciones (**Briley, 1984**).

### **2.2.2 Los lípidos**

Los lípidos son aquellas moléculas orgánicas, denominadas también biomoléculas, presentes en el tejido de los animales y las plantas, los cuales pueden ser separados o aislados con solventes de baja polaridad tales como: tetracloruro de carbono, cloroformo, éter de petróleo, éter etílico, bencina, benceno, tolueno, mezclas de benceno o tolueno y etanol en proporción 2:1. Se encuentran en la madera dentro de las sustancias extraíbles en disolventes poco polares (**Briley, 1984**).

### **2.2.3 Clasificación de los lípidos**

Los lípidos pueden clasificarse de acuerdo a su estructura química, tal como se muestra en la figura 2.1, aquellos que presentan enlaces éster y pueden ser hidrolizados, tales como ceras, glicéridos se denominan lípidos hidrolizables y los que no presentan enlaces

ésteres, denominados no hidrolizables en los que se encuentran los esteroides, esteroides, terpenos y terpenoides.

Los lípidos hidrolizables, se clasifican en: lípidos simples, compuestos, los lípidos no hidrolizables se clasifican en isoprenoides y esteroides.

Los lípidos se clasifican en dependencia de las reacciones químicas que experimentan, de esta manera aquellos que reaccionan con disolución de NaOH al 40%, originando sales, se denominan lípidos saponificables, y los que no experimentan este tipo de reacción se consideran lípidos no saponificables.

### 2.2.3.1 Lípidos no polares

#### 2.2.3.1.1 Ácidos grasos

Son las unidades básicas de los lípidos saponificables, y consisten en moléculas formadas por una larga cadena hidrocarbonada con un número par de átomos de carbono (12-24) y un grupo carboxilo terminal. La presencia de dobles enlaces en el ácido graso reduce el punto de fusión. Los ácidos grasos se dividen en saturados e insaturados (**Donatella, 2005**).

- **Saturados.** Sin dobles enlaces entre átomos de carbono; por ejemplo, ácido láurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido margárico, ácido esteárico, ácido araquídico y ácido lignogérico.
- **Insaturados.** Los ácidos grasos insaturados se caracterizan por poseer dobles enlaces en su configuración molecular. Éstas son fácilmente identificables, ya que estos dobles enlaces hacen que su punto de fusión sea menor que en el resto. Se presentan ante nosotros como líquidos, como aquellos que llamamos aceites. Este tipo de alimentos disminuye el colesterol en sangre y también son llamados ácidos grasos esenciales. Los animales no son capaces de sintetizarlos, pero los necesitan para desarrollar ciertas funciones fisiológicas, por lo que deben aportarlos en la dieta. La mejor forma y la más sencilla para poder enriquecer nuestra dieta con estos alimentos, es la de aumentar su ingestión, es decir, aumentar su proporción respecto a los alimentos que consumimos de forma habitual.

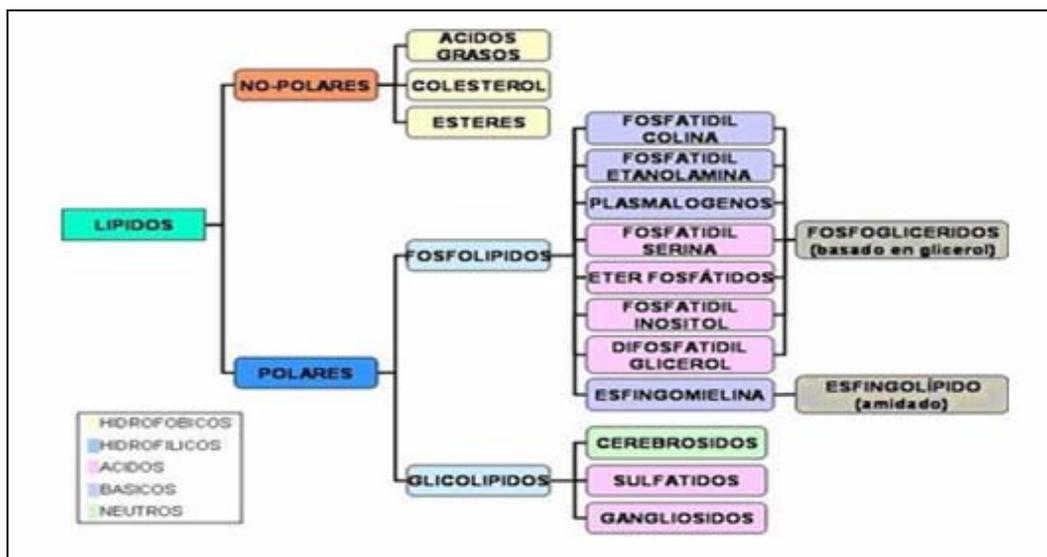
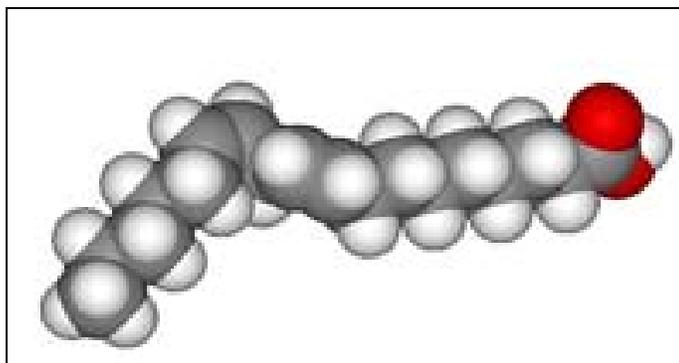


Figura 2.1 clasificación de los lípidos.

Los denominados ácidos grasos esenciales no pueden ser sintetizados por el organismo humano y son el ácido linoleico, el ácido linolénico y el ácido araquidónico, que deben ingerirse en la dieta. Entre las Propiedades fisicoquímicas de los ácidos grasos se encuentran las siguientes:

- **Carácter Anfipático:** Ya que el ácido graso está formado por un grupo carboxilo y una cadena hidrocarbonada, esta última es la que posee la característica hidrófoba; siendo responsable de su insolubilidad en agua.
- **Punto de fusión:** depende de la longitud de la cadena y de su número de insaturaciones, siendo los ácidos grasos insaturados los que requieren menor energía para fundirse.
- **Esterificación:** los ácidos grasos pueden formar ésteres con grupos alcohol de otras moléculas
- **Saponificación:** por hidrólisis alcalina los ésteres formados anteriormente dan lugar a jabones (sal del ácido graso).
- **Autooxidación:** los ácidos grasos insaturados pueden oxidarse espontáneamente, dando como resultado aldehídos donde existían los dobles enlaces covalentes.



**Figura 2.2 Estructura 3D del ácido linoleico, un tipo de ácido graso. En rojo se observa la cabeza polar correspondiente a un grupo carboxilo.**

#### 2.2.3.1.2 Acilglicéridos

Los acilglicéridos o acilgliceroles son ésteres de ácidos grasos con glicerol (glicerina), formados mediante una reacción de condensación llamada esterificación. Una molécula de glicerol puede reaccionar con hasta tres moléculas de ácidos grasos, puesto que tiene tres grupos hidroxilo (**Donatella, 2005**)

Según el número de ácidos grasos que se unan a la molécula de glicerina, existen tres tipos de acilgliceroles:

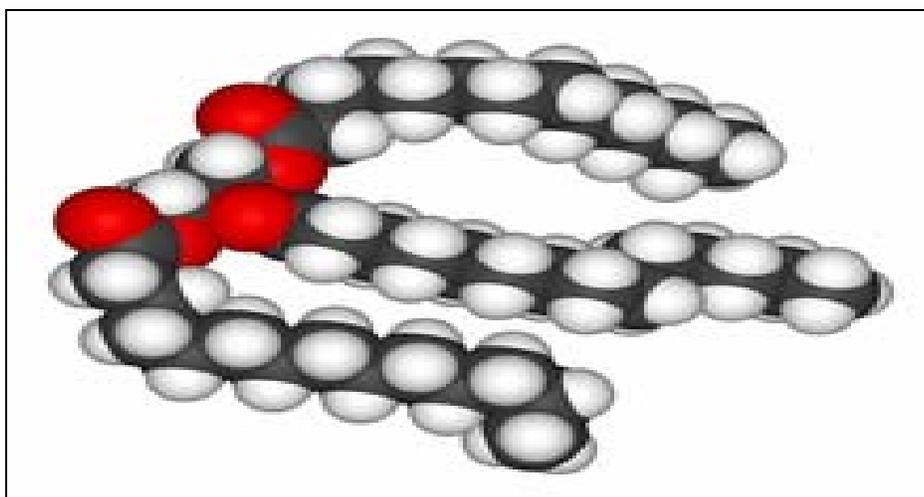
- Monoglicéridos: Sólo existe un ácido graso unido a la molécula de glicerina.
- Diacilglicéridos: La molécula de glicerina se une a dos ácidos grasos.
- Triacilglicéridos: Llamados comúnmente triglicéridos, puesto que la glicerina está unida a tres ácidos grasos; son los más importantes y extendidos de los tres.

Los triglicéridos constituyen la principal reserva energética de los animales, en los que constituyen las grasas; en los vegetales constituyen los aceites. El exceso de lípidos es almacenado en grandes depósitos en el tejido adiposo de los animales.

#### 2.2.3.1.3 Céridos

Las ceras son moléculas que se obtienen por esterificación de un ácido graso con un alcohol monovalente lineal de cadena larga. Por ejemplo la cera de abeja. Son sustancias altamente insolubles en medios acuosos y a temperatura ambiente se

presentan sólidas y duras. En los animales las podemos encontrar en la superficie del cuerpo, piel, plumas, cutícula, etc. En los vegetales, las ceras recubren en la epidermis de frutos, tallos, junto con la cutícula o la suberina, que evitan la pérdida de agua por evaporación.



**Figura 2.3 Representación tridimensional de un triglicérido.**

## **2.2.3.2 Lípidos polares**

### **2.2.3.2.1 Fosfolípidos**

Los fosfolípidos son un tipo de lípidos anfipáticos compuestos por una molécula de glicerol, a la que se unen dos ácidos grasos (1,2-diacilglicerol) y un grupo fosfato. El fosfato se une mediante un enlace fosfodiéster a otro grupo de átomos, que frecuentemente contienen nitrógeno, como colina, serina o etanolamina y muchas veces poseen una carga eléctrica. Todas las membranas activas de las células poseen una bicapa de fosfolípidos (**Lehninger, 1976**). Los fosfolípidos más abundantes son la fosfatidiletanolamina (o cefalina), fosfatidilinositol, ácido fosfatídico, fosfatidilcolina (o lecitina) y fosfatidilserina. Entre las propiedades fisicoquímicas de los fosfolípidos se encuentran:

- Los fosfolípidos son moléculas anfipáticas, es decir, tienen una región apolar hidrófoba que repele el agua y una región polar hidrófila que tienen afinidad por la misma. La región apolar de los fosfolípidos corresponde a las largas cadenas alquílicas

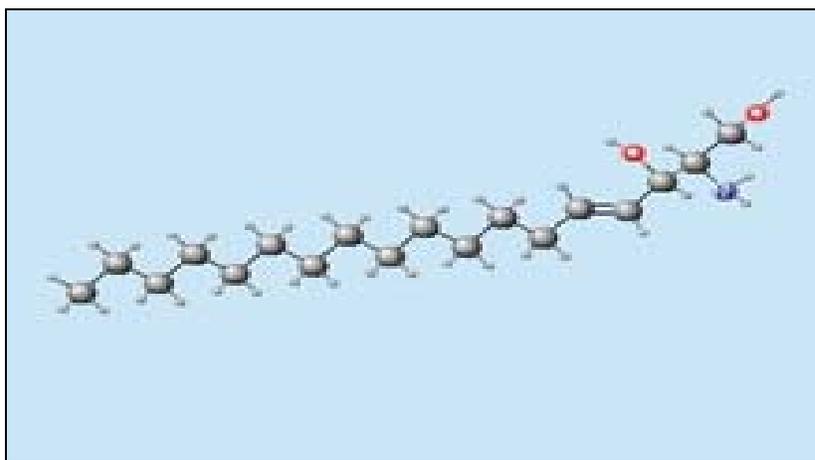
de los ácidos grasos, que se denominan por ello "colas apolares", la región polar corresponde al grupo fosfato, cargado negativamente y a la molécula unida a él, que puede estar cargada positivamente o poseer grupos hidroxilo ( $-OH$ ) polares, en conjunto forman la "cabeza" polar de la molécula (figuras 2.1 y 2.2).

- En un entorno acuoso, las cabezas polares de los fosfolípidos tienden a orientarse hacia su entorno polar, mientras que las colas hidrofóbicas tienden a minimizar el contacto con el agua. Las colas no polares de los lípidos tienden a juntarse, formando una bicapa lipídica o una micela. Las cabezas polares (P) se orientan hacia el entorno acuoso. Las micelas se forman cuando lípidos anfipáticos de una sola cola son colocados en un entorno polar, mientras que las bicapas lipídicas se forman cuando fosfolípidos de dos colas son colocados en un ambiente polar. Las micelas son esferas de una sola capa y solamente pueden llegar hasta cierto tamaño, mientras que las bicapas pueden ser considerablemente más largas. También pueden formar túbulos (pequeños tubos). Las bicapas que se doblan sobre sí mismas forman una esfera vacía, creando así un compartimiento separado acuoso, y es en esto en lo que consiste esencialmente la membrana plasmática.
- Las micelas y las bicapas se separan del ambiente polar mediante un proceso conocido como "efecto hidrofóbico". Cuando se disuelve una sustancia no polar en un entorno polar, las moléculas polares (por ejemplo agua en el caso de una solución acuosa) se acomodan de manera más ordenada alrededor de la sustancia no polar disuelta debido a que las moléculas polares no pueden formar enlaces de puente de hidrógeno con las moléculas no polares. Es por esto que, en un entorno acuoso, las moléculas polares del agua forman una caja ordenada de "clatrato" alrededor de la molécula no polar disuelta. De cualquier manera, cuando la molécula no polar se separa del líquido polar, la entropía (el estado de desorden) de la molécula polar en el líquido se incrementa. Esto es esencialmente una forma de fase de separación, similar a la separación espontánea que ocurre cuando se ponen juntos agua y aceite.
- La auto-organización depende de la concentración del lípido presente en la solución. Debajo de la concentración crítica de la micela, los lípidos forman una sola capa en la superficie del líquido y son dispersados en la solución. En la primera concentración crítica de la micela (CMC-I), los lípidos se organizan en micelas esféricas; en la segunda concentración crítica de la micela (CMC-II), en tubos alongados; y en el punto laminar

(LM o CMC-III), en laminillas apiladas de tubos. La CMC depende de la composición química, principalmente en el radio del área de la cabeza y de la longitud de la cola. La forma de bicapa lipídica son el fundamento de todas las membranas biológicas y de los liposomas.

Existen varios tipos de fosfolípidos:

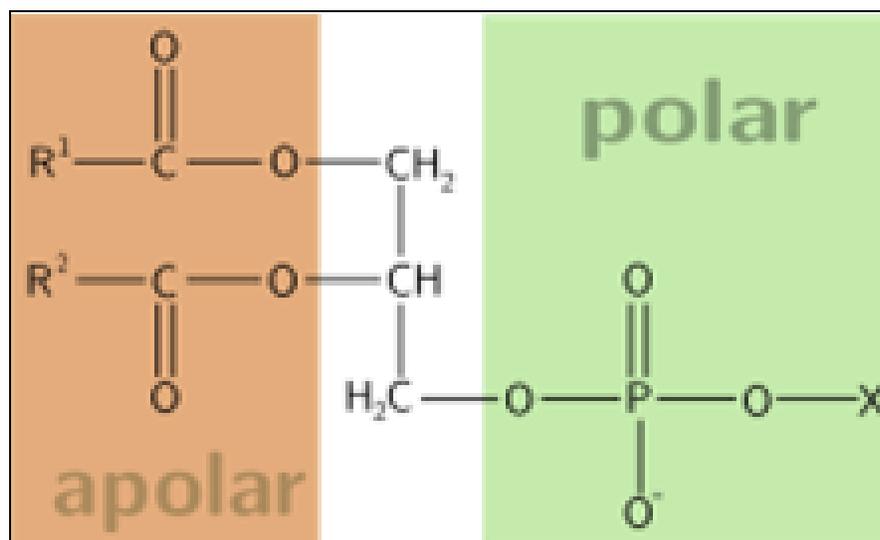
- **Los fosfoesfingolípidos:** son esfingolípidos con un grupo fosfato, tienen una arquitectura molecular y unas propiedades similares a los fosfoglicéridos. No obstante, no contienen glicerol, sino esfingosina, un aminoalcohol de cadena larga al que se unen un ácido graso, conjunto conocido con el nombre de ceramida; a dicho conjunto se le une un grupo fosfato y a éste un aminoalcohol; el más abundante es la esfingomielina, en la que el ácido graso es el ácido lignocérico y el aminoalcohol la colina; es el componente principal de la vaina de mielina que recubre los axones de las neuronas (Devlin 2004).



**Figura 2.4 Imagen en 3D de la molécula de la esfingosina.**

- **Los fosfoglicéridos:** están compuestos por ácido fosfatídico, una molécula compleja compuesta por glicerol, al que se unen dos ácidos grasos (uno saturado y otro insaturado) y un grupo fosfato; el grupo fosfato posee un alcohol o un aminoalcohol, y el conjunto posee una marcada polaridad y forma lo que se denomina la "cabeza" polar del fosfoglicérido; los dos ácidos grasos forman las dos "colas" hidrófobas; por tanto, los fosfoglicéridos son moléculas con un fuerte carácter anfipático que les permite formar bicapas, que son la arquitectura básica de todas las membranas biológicas.

Los principales alcoholes y aminoalcoholes de los fosfoglicéridos que se encuentran en las membranas biológicas son la colina (para formar la fosfatidilcolina o lecitina), la etanolamina (fosfatidiletanolamina o cefalina), serina (fosfatidilserina) y el inositol (fosfatidilinositol).



**Figura 2.5 Estructura de un fosfoglicérido; X representa el alcohol o aminoalcohol que se esterifica con el grupo fosfato; el resto representa el ácido fosfatídico.**

#### 2.2.3.2.2 Glucolípidos

Los glucolípidos o glicolípidos son esfingolípidos compuestos por una ceramida (esfingosina + ácido graso) y un glúcido de cadena corta el cual carece de grupo fosfato. Los glucolípidos forman parte de la bicapa lipídica de la membrana celular; la parte glucídica de la molécula está orientada hacia el exterior de la membrana plasmática y es un componente fundamental del glicocálix, donde actúa en el reconocimiento celular y como receptores antigénicos.

Entre los principales glúcidos que forman parte de los glucolípidos encontramos a la galactosa, manosa, fructosa, glucosa, N-acetilglucosamina, N-acetilgalactosamina y el ácido siálico. Dependiendo del glucolípidos, la cadena glucídica puede contener, en cualquier lugar, entre uno y quince monómeros de monosacárido. Al igual que la cabeza de fosfato de un fosfolípido, la cabeza de carbohidrato de un glucolípidos es hidrofílica, y las colas de ácidos grasos son hidrofóbicas. En solución acuosa, los glucolípidos se

comportan de manera similar a los fosfolípidos. Entre los tipos de glucolípidos se encuentran:

- **Los cerebrósidos:** tienen un único azúcar unido mediante enlace  $\beta$ -glucosídico al grupo hidroxilo de la ceramida; los que tienen galactosa se denominan galactocerebrósidos (como la frenosina) y se encuentran de manera característica a las membranas plasmáticas de células del tejido nervioso; los que contienen glucosa (glucocerebrósidos) se hallan en las membranas plasmáticas de células de tejidos no nerviosos. Los sulfátidos poseen una galactosa esterificada con sulfato en el carbono 3.
- **Los globósidos:** son glucoesfingolípidos con oligosacáridos neutros unidos a la ceramida.
- **Gangliósidos:** son los esfingolípidos más complejos en virtud de contener cabezas polares muy grandes formadas por unidades de oligosacáridos cargadas negativamente ya que poseen una o más unidades de ácido N-acetilneuramínico o ácido siálico que tiene una carga negativa a PH 7. Los gangliósidos se diferencian de los anteriores por poseer este ácido. Están concentrados en gran cantidad en las células ganglionares del sistema nervioso central, especialmente en las terminaciones nerviosas. Los gangliósidos constituyen el 6% de los lípidos de membrana de la materia gris del cerebro humano y se hallan en menor cantidad en las membranas de la mayoría de los tejidos animales no nerviosos.

Se presentan en la zona externa de la membrana y sirven para reconocer las células, por lo tanto se les considera receptores de membrana. Su nombre se debe a que se aislaron por primera vez de la membrana de las mitocondrias de las células ganglionares.

### **2.2.3.3 Lípidos insaponificables**

Se caracterizan por la ausencia de ácidos grasos por lo que no tienen la capacidad de formar jabones (**Devlin, 2004**)

#### **2.2.3.3.1 Terpenos**

Los terpenos, terpenoides o isoprenoides, son lípidos derivados del hidrocarburo isopreno (o 2-metil-1,3-butadieno). Los terpenos biológicos constan, como mínimo de dos moléculas de isopreno. Algunos terpenos importantes son los aceites esenciales

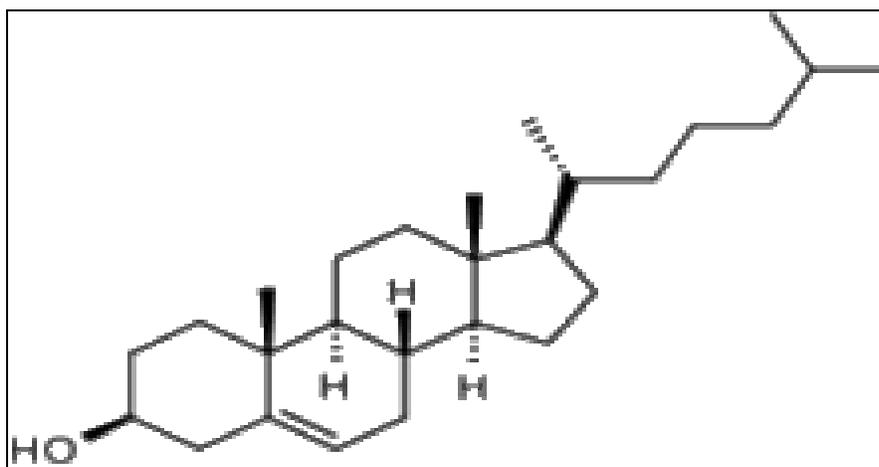
(mentol, limoneno, geraniol), el fitol (que forma parte de la molécula de clorofila), las vitaminas A, K y E, los carotenoides (que son pigmentos fotosintéticos) y el caucho (que se obtiene del árbol *Hevea brasiliensis*). Desde el punto de vista farmacéutico, los grupos de principios activos de naturaleza terpénica más interesantes son: monoterpenos y sesquiterpenos constituyentes de los aceites esenciales, derivados de monoterpenos correspondientes a los iridoides, lactonas sesquiterpénicas que forman parte de los principios amargos, algunos diterpenos que poseen actividades farmacológicas de aplicación a la terapéutica y por último, triterpenos y esteroides entre los que se encuentran las saponinas y los heterósidos cardiotónicos.

#### **2.2.3.3.2 Esteroides**

Los esteroides son lípidos derivados del núcleo del hidrocarburo esterano (o ciclopentanoperhidrofenantreno), esto se componen de cuatro anillos fusionados de carbono que posee diversos grupos funcionales (carbonilo, hidroxilo) por lo que la molécula tiene partes hidrofílicas e hidrofóbicas (carácter anfipático).

Entre los esteroides más destacados se encuentran los ácidos biliares, las hormonas sexuales, las corticosteroides, la vitamina D y el colesterol. El colesterol es el precursor de numerosos esteroides y es un componente más de la bicapa de las membranas celulares. Esteroides Anabólicos es la forma como se conoce a las sustancias sintéticas basadas en hormonas sexuales masculinas (andrógenos). Estas hormonas promueven el crecimiento de músculos (efecto anabólico) así como también en desarrollo de las características sexuales masculinas (efecto andrógeno).

Los esteroides anabólicos fueron desarrollados a finales de 1930 principalmente para tratar el Hipogonadismo, una condición en la cual los testículos no producen suficiente testosterona para garantizar un crecimiento, desarrollo y función sexual normal del individuo. Precisamente a finales de 1930 los científicos también descubrieron que estos esteroides facilitaban el crecimiento de músculos en los animales de laboratorio, lo cual llevo al uso de estas sustancias por parte de físicos culturistas y levantadores de pesas y después por atletas de otras especialidades.



**Figura 2.6 Colesterol; los 4 anillos son el núcleo de esterano, común a todos los esteroides.**

### 2.2.3.3.3 Eicosanoides

Los eicosanoides o icosanoides son lípidos derivados de los ácidos grasos esenciales de 20 carbonos tipo omega-3 y omega-6. Los principales precursores de los eicosanoides son el ácido araquidónico, el ácido linoleico y el ácido linolénico. Todos los eicosanoides son moléculas de 20 átomos de carbono y pueden clasificarse en tres tipos: prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos.

Cumplen amplias funciones como mediadores para el sistema nervioso central, los procesos de la inflamación y de la respuesta inmune tanto de vertebrados como invertebrados. Constituyen las moléculas involucradas en las redes de comunicación celular más complejas del organismo animal, incluyendo el hombre.

## 2.3 Solventes

Un solvente es una sustancia que permite la dispersión de otra en su seno. Es el medio dispersante de la disolución. Normalmente, el solvente establece el estado físico de la disolución, por lo que se dice que el solvente es el componente de una disolución que está en el mismo estado físico que la misma. Usualmente, también es el componente que se encuentra en mayor proporción.

Los solventes forman parte de múltiples aplicaciones: adhesivos, componentes en las pinturas, productos farmacéuticos, para la elaboración de materiales sintéticos, etc. Las moléculas del solvente ejercen su acción al interactuar con las de soluto y rodearlas. Se conoce como solvatación. Solutos polares serán disueltos por disolventes polares al establecerse interacciones electrostáticas entre los dipolos. Los solutos apolares disuelven las sustancias apolares por interacciones entre dipolos inducidos. (Mayoral, 2007).

### 2.3.1 Clasificación de los solventes

#### 2.3.1.1 Solventes polares

Son sustancias en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es asimétrica; por lo tanto, la molécula presenta un polo positivo y otro negativo separados por una cierta distancia. Hay un dipolo permanente. El ejemplo clásico de solvente polar es el agua. Los alcoholes de baja masa molecular también pertenecen a este tipo. Los disolventes polares se pueden subdividir en:

- Solventes polares próticos: contienen un enlace del O-H o del N-H. Agua (H-O-H), etanol (CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH) y ácido acético (CH<sub>3</sub>-C(=O)OH) son disolventes polares próticos.
- Solventes polares apróticos: son disolventes polares que no tiene enlaces O-H o N-H. La acetona (CH<sub>3</sub>-C(=O)-CH<sub>3</sub>) y THF o Tetrahidrofurano son disolventes polares apróticos.

#### 2.3.1.2 Solventes apolares

En general son sustancias de tipo orgánico y en cuyas moléculas la distribución de la nube electrónica es simétrica; por lo tanto, estas sustancias carecen de polo positivo y negativo en sus moléculas. No pueden considerarse dipolos permanentes. Esto no implica que algunos de sus enlaces sean polares. Todo dependerá de la geometría de sus moléculas. Si los momentos dipolares individuales de sus enlaces están compensados, la molécula será, en conjunto, apolar. Algunos disolventes de este tipo son: el dietiléter, cloroformo, benceno, tolueno, xileno, cetonas, hexano, ciclohexano, tetracloruro de carbono es el que disuelve o va a disolver, etc. Un caso especial lo

constituyen los líquidos fluorados, que se comportan como disolventes más apolares que los disolventes orgánicos convencionales.

### **2.3.1.3 Solventes orgánicos**

Los solventes más utilizados actualmente, son los solventes orgánicos, que son compuestos orgánicos volátiles que se utilizan solos o en combinación con otros agentes, sin sufrir ningún cambio químico, para disolver materias primas, productos o materiales residuales, o se utilice como agente de limpieza para disolver la suciedad, o como solvente, o como medio de dispersión, o como modificador de la viscosidad, o como agente tenso-activo, plastificante o protector.

El uso de estos solventes, libera a la atmósfera compuestos orgánicos volátiles (COVs), que tienen algunos problemas importantes para el entorno. Algunos COVs causan la degradación de la capa de ozono como es el caso de 1,1,1-tricloroetano, tetracloruro de carbono, CFCs, HCFCs. El carácter volátil de los solventes orgánicos hace que éstos se evaporen rápidamente en el aire, alcanzando concentraciones importantes en espacios confinados. Los riesgos mayores para el ser humano se producen por la absorción de éstos a través de la piel y por inhalación. El contacto directo con la piel permite que el solvente pase a la sangre, causando efectos inmediatos y a más largo plazo (**Mayoral, 2007**)

Para reducir el impacto medioambiental de los actuales solventes orgánicos existen una serie de sustancias que se pueden usar como alternativas, siendo los llamados solventes alternativos o nuevos solventes, pertenecientes a la rama de la Química verde, en la que se pueden englobar los siguientes principios:

- El diseño de procesos que incorporen al máximo en el producto final todos los materiales usados durante el proceso, minimizando la obtención de subproductos.
- El uso de sustancias seguras y respetuosas con el medio ambiente como son los disolventes reactivos, etc.
- El diseño de procesos energéticamente eficientes.

### **2.3.2 Polaridad de un Solvente**

En química, se denomina polaridad de un solvente al parámetro que mide la hidrofobicidad de dicho disolvente frente a un soluto. En general, las reacciones

químicas tienen lugar en fase homogénea, ya que, para que dos especies entren en contacto, deben estar en la misma fase. En disolución, las especies reactivas gozan de mayor libertad de movimiento y se difunden en el volumen total del disolvente, aumentando así la probabilidad de colisión entre ellas.

El solvente debe actuar sobre el soluto solvatándolo y venciendo las fuerzas intermoleculares que lo mantienen unido, pero sin dar lugar a la reacción. En función de la naturaleza del soluto y del disolvente, las fuerzas de solvatación entre ambos pueden ser de diferentes tipos: enlaces de hidrógeno, interacciones polares y fuerzas de London.

El solvente idóneo suele tener unas características químicas y estructurales similares a las del compuesto a disolver. La polaridad y, consecuentemente, la solubilidad de los compuestos orgánicos en disolventes polares, aumenta con la disminución de la longitud de la cadena hidrocarbonada, la presencia de grupos funcionales polares y la capacidad de formación de enlaces de hidrógeno con el disolvente. La polaridad es una característica muy importante de los disolventes debido a que determina la solubilidad y el orden de elución de los compuestos en técnicas de separación como la cromatografía.

### **2.3.2.1 Constante dieléctrica y momento dipolar**

La constante dieléctrica y el momento dipolar son propiedades complementarias de una sustancia. Con frecuencia se utilizan ambas constantes físicas para caracterizar su polaridad, aunque el momento dipolar no representa la polaridad de un disolvente. Cuando se quiere decir que una molécula es polar, se quiere decir que tiene un elevado momento dipolar. Sin embargo, cuando se dice que un disolvente es polar, significa que tiene una elevada constante dieléctrica.

En otras palabras, la polaridad de un disolvente o constante dieléctrica, es una propiedad macroscópica (a nivel macroscópico), mientras que la polaridad molecular o momento dipolar es una propiedad de moléculas aisladas. Aunque la polaridad de un disolvente depende de muchos factores, puede definirse como su capacidad para solvatar y estabilizar cargas. Arbitrariamente, y como punto de referencia, empiezan a considerarse polares aquellos disolventes que poseen una constante dieléctrica superior a 15.

### 2.3.2.2 Polaridad de enlace

Cuando dos átomos están unidos por un enlace covalente, el par de electrones compartido puede ser atraído por igual por ambos átomos, o puede ocurrir que uno de ellos lo atraiga más fuertemente que el otro. Si ocurre lo primero, el centro de cargas positivas coincide con el de negativas y el enlace no está polarizado. Pero si el par de electrones no es atraído por igual por ambos núcleos, se situará más próximo a uno de ellos y entonces los centros de las cargas positiva y negativa no coincidirán y un extremo del enlace tendrá un exceso de carga negativa y el otro extremo un defecto. Habrá un centro o polo positivo y un centro o polo negativo y el enlace estará polarizado.

La polaridad de los enlaces se debe a la electronegatividad característica de cada átomo, que fue definida por Pauling como la capacidad de cada átomo dentro de cada molécula para atraer los pares de electrones hacia sí. Cuanto mayor sea la diferencia de electronegatividad de dos átomos enlazados, mayor será la polaridad del enlace entre ambos. Los átomos con distinta electronegatividad presentan la densidad electrónica desplazada hacia el átomo más electronegativo.

No se debe confundir la polaridad del enlace con el término polarizabilidad. Todas las moléculas llevan asociada una densidad electrónica, de forma que en presencia de un campo externo, ésta se distorsiona y se genera un momento dipolar inducido que se opone a dicho campo. Este fenómeno se denomina polarizabilidad y todos los átomos contribuyen a él, aunque es más importante en el caso de los electrones sujetos con menor intensidad, como los electrones externos de átomos pesados.

**Tablas 2.1 Propiedades Físicas y Constante Dieléctrica de los Solventes Polares Próticos más Comunes.**

Solvente	Fórmula química	Punto de ebullición	Constante dieléctrica	Densidad
<b>Disolventes polares próticos</b>				
Ácido acético	$\text{CH}_3\text{-C(=O)OH}$	118 °C	6,2	1,049 g/ml
<i>n</i> -Butanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	118 °C	18	0,810 g/ml
Isopropanol (IPA)	$\text{CH}_3\text{-CH(-OH)-CH}_3$	82 °C	18	0,785 g/ml

<i>n</i> -Propanol	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -OH	97 °C	20	0,803 g/ml
Etanol	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH	79 °C	24	0,789 g/ml
Metanol	CH <sub>3</sub> -OH	65 °C	33	0,791 g/ml
Ácido fórmico	H-C(=O)OH	100 °C	58	1,21 g/ml
Agua	H-O-H	100 °C	82	1,000 g/ml

**Tablas 2.2 Propiedades Físicas y Constante Dieléctrica de los Solventes No Polares más Comunes**

Solvente	Fórmula química	Punto de ebullición	Constante dieléctrica	Densidad
<b>Disolventes no polares</b>				
Hexano	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	69 °C	2,0	0,655 g/ml
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	80 °C	2,3	0,879 g/ml
Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CH <sub>3</sub>	111 °C	2,4	0,867 g/ml
Éter dietílico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -O-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	35 °C	4,3	0,713 g/ml
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	61 °C	4,8	1,498 g/ml
Acetato de etilo	CH <sub>3</sub> -C(=O)-O-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	77 °C	6,0	0,894 g/ml

**Tablas 2.3 Propiedades Físicas y Constante Dieléctrica de los Solventes Polares Apróticos más Comunes**

Solvente	Fórmula química	Punto de ebullición	Constante dieléctrica	Densidad
<b>Disolventes polares apróticos</b>				
1,4-Dioxano	$\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O}$	101 °C	2,3	1,033 g/ml
Tetrahidrofurano (THF)	$\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2$	66 °C	7,5	0,886 g/ml
Diclorometano (DCM)	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	40 °C	9,1	1,326 g/ml
Acetona	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-CH}_3$	56 °C	21	0,786 g/ml
Acetonitrilo (MeCN)	$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{N}$	82 °C	37	0,786 g/ml
Dimetilformamida (DMF)	$\text{H-C(=O)N(CH}_3)_2$	153 °C	38	0,944 g/ml
Dimetil sulfóxido (DMSO)	$\text{CH}_3\text{-S(=O)-CH}_3$	189 °C	47	1,092 g/ml

### 2.3.2.3 Características de los disolventes: próticos-apróticos

Los disolventes próticos son moléculas en general muy polares que contienen protones (H<sup>+</sup>) ácidos y por lo tanto pueden formar enlaces de hidrógeno con los solutos. Los disolventes apróticos son aquellos que no contienen hidrógenos ácidos, por lo cual no pueden formar puentes de hidrógeno. En la siguiente tabla, se establece una clasificación general de los disolventes considerando su carácter polar o apolar y la capacidad para ceder protones y formar enlaces de hidrógeno. Se muestran las propiedades que presentan los compuestos próticos y apróticos.

**Tablas 2.4 Características de los Solventes Próticos, Apróticos polares y Apróticos apolares**

Tipo de Solvente	Características
Próticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen un grupo funcional capaz de ceder protones (OH, NH, SH).</li> <li>• Capacidad de formar puentes de hidrógeno.</li> <li>• Polares.</li> <li>• Ejemplos: agua, ácidos carboxílicos, alcoholes, aminas.</li> </ul>

**Tablas 2.4 Características de los Solventes Próticos, Apróticos polares y Apróticos apolares (continuación)**

Tipo de Solvente	Características
Apróticos polares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carecen de grupos funcionales capaces de ceder protones.</li> <li>• Constante dieléctrica alta.</li> <li>• Ejemplos: DMSO, DMF, HMPA, nitrilos, cetonas, nitrocompuestos.</li> </ul>
Apróticos apolares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carecen de grupos funcionales capaces de ceder protones.</li> <li>• Constante dieléctrica baja.</li> <li>• Ejemplos: hidrocarburos (alifáticos, aromáticos, halogenados), éteres, ésteres, halogenuros de alquilo.</li> </ul>

### 2.3.3 Acetona

La acetona o propanona es un compuesto químico de fórmula química  $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$  del grupo de las cetonas que se encuentra naturalmente en el medio ambiente. A temperatura ambiente se presenta como un líquido incoloro de olor característico. Se evapora fácilmente, es inflamable y soluble en agua. La acetona sintetizada se usa en la fabricación de plásticos, fibras, medicamentos y otros productos químicos, así como disolvente de otras sustancias químicas.

La nomenclatura de la acetona según la IUPAC es propanona y la nomenclatura común es dimetil cetona. Son erróneas por redundantes las denominaciones 2-propanona y propan-2-ona porque el grupo funcional cetona sólo puede encontrarse en el segundo carbono de la molécula.

Tabla 2.5 Propiedades físicas y químicas de la acetona.

Propiedades físicas	
Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	790 kg/m <sup>3</sup> ; 0,79 g/cm <sup>3</sup>
Masa molar	58,04 g/mol
Punto de fusión	178.2 K (-94.9 °C)
Punto de ebullición	329.4 K (56.3 °C)
Viscosidad	0,32 cP a 20 °C (293 K)
Índice de refracción	1.35900 (20 °C)
Propiedades químicas	
Solubilidad en agua	Soluble. También puede disolverse en etanol, isopropanol y tolueno
Momento dipolar	2,91 D

#### 2.3.4 Éter de petróleo

El éter de petróleo, también conocido como bencina, nafta VM & P, nafta de petróleo, nafta ASTM o ligroína, es una mezcla líquida de diversos compuestos volátiles, muy inflamables, de la serie homóloga de los hidrocarburos saturados o alcanos, y no a la serie de los éteres como erróneamente indica su nombre. Se emplea principalmente como solvente no polar (**Restrepo, 2008**).

El éter de petróleo se obtiene en las refinerías de petróleo como una parte del destilado, intermedia entre la nafta ligera y la más pesada del queroseno. Tiene una densidad relativa comprendida entre 0,6 y 0,8, en función de su composición. Las siguientes fracciones de destilación del éter de petróleo están comúnmente disponibles como productos comerciales, en función de su temperatura de ebullición: 30 a 40 ° C, 40 a 60 ° C, 60 a 80 ° C, de 80 a 100 ° C, de 80 a 120 ° C y, a veces 100 a 120 ° C. La fracción 60 a 80 ° C se utiliza a menudo como sustituto del hexano.

El éter de petróleo es utilizado principalmente por las compañías farmacéuticas en el proceso de fabricación de fármacos. Éter de petróleo se compone principalmente de pentano, y se utiliza a veces en su lugar, debido a su menor costo. El éter de petróleo, no es técnicamente un éter sino un alcano. La bencina no debe confundirse con el benceno. La bencina es una mezcla de alcanos, como pentano, hexano y heptano, mientras que el benceno es un hidrocarburo aromático cíclico, de fórmula  $C_6H_6$ . Asimismo, el éter de petróleo no debe confundirse con la clase de compuestos orgánicos llamados éteres, que contienen el grupo funcional  $R-O-R'$ . Tampoco debe confundirse con la gasolina.

#### **2.3.4.1 Variedades del éter de petróleo**

##### **2.3.4.1.1 Éter de petróleo 30°-40°**

Esta fracción está compuesta principalmente por pentano e isopentano y presenta el aspecto de un líquido incoloro. Se emplea como solvente o eluyente para diferentes usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

##### **2.3.4.1.2 Éter de petróleo 40°-60°**

Esta fracción está compuesta principalmente por pentano y 2-metilpentano. Presenta el aspecto de un líquido incoloro. Su número CAS es 64742-49-0.5. Es miscible con triclorometano.

##### **2.3.4.1.3 Éter de petróleo 50°-70°**

Esta fracción está compuesta principalmente por 2-metilpentano, 3-metilpentano y hexano. Presenta el aspecto de un líquido incoloro. Su número CAS es 64742-49-0.6

##### **2.3.4.1.4 Éter de petróleo 60°-80°**

Esta fracción está compuesta principalmente por 3-metilpentano y hexano y presenta el aspecto de un líquido incoloro. Su número CAS 64742-49-0.7

##### **2.3.4.1.5 Éter de petróleo 65°-95°**

Esta fracción está compuesta por una mezcla de hidrocarburos y presenta el aspecto de un líquido incoloro. Su número CAS 64742-49-0.8

Tabla 2.6 Propiedades del éter de petróleo

Propiedad	Valor
Punto de ebullición:	30-40 °C
Punto de inflamación:	-56 °C
Temperatura de auto ignición:	285 °C
Límites de explosión (inf./sup.):	1,2 / 7,5 Vol. %
Presión de vapor: (20 °C)	350 hPa
Indicaciones de peligro:	Extremadamente inflamable Nocivo Peligroso para medio ambiente
Símbolos (pictogramas):	Xn, F+, N
LC50:	3400 ppm/4h (rata; inhalación)
Test EC50 (mg/l):	Peces = 159 mg/l

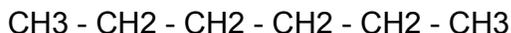
#### 2.3.4.1.6 Ligoína o éter de petróleo 30-65 °C

La ligoína es una fracción rica en hidrocarburos saturados, procedente del refinado de petróleo, similar al éter de petróleo y utilizada principalmente como solvente de laboratorio. Está compuesta fundamentalmente de cadenas carbonadas entre 7 y 11 átomos de carbono, con una proporción aproximada de 55% parafinas, 30% monocicloparafinas, 12% alquilbencenos, y 2% dicitloparafinas. Es un disolvente no-polar con muy baja fuerza de elución. Su número CAS es 8032-32-4. Generalmente la ligoína de laboratorio hierve entre 60 a 90 ° C.9

#### 2.3.5 Hexano

El hexano o n-hexano es un hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono. Su forma química es C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> [Restrepo, 2008].

Existen varios isómeros de esta sustancia, siendo la más conocida e importante la del n-hexano:



### **Isomero del n-hexano**

Otros isómeros son: 2-metilpentano (o isohexano), 3-metilpentano, 2,2-dimetilbutano (o neohexano) y 2,3-dimetilbutano. El hexano se trata de un líquido incoloro, fácilmente inflamable y con un olor característico a solvente. Es poco polar o combinable, con el agua pero se mezcla bien con los solventes orgánicos apolares como el alcohol, el éter o el benceno. Es muy poco polar por lo que su momento dipolar es casi nulo y su fuerza de elución es muy baja ( $\epsilon^0=0,01$ ).

El hexano y sus isómeros forman parte de varios petróleos y se obtiene de ellos mediante destilación fraccionada. A menudo no hace falta separar el n-hexano si no se emplea directamente la mezcla obtenida cuyo intervalo de ebullición coincide aproximadamente con el punto de ebullición del hexano. El hexano es utilizado como disolvente para algunas pinturas y procesos químicos y para quitar etiquetas de precios ya que disuelve el pegamento con que se adhieren. También fue muy utilizado en la industria del calzado y la marroquinería, aunque su uso en industrias controladas está más restringido.

## **2.4 Método de extracción**

### **2.4.1 Extracción con solvente químico**

La extracción de lípidos con solventes químicos, ha sido utilizada tradicionalmente para obtener lípidos de fuentes animales y vegetales, el solvente es por lo general adicionado a la biomasa seca, aunque en algunos casos es utilizado en biomasa con cierta cantidad de agua, lo que disminuye los costos globales del proceso, pero disminuye también la eficiencia de la extracción.

Una gran variedad de solventes orgánicos suelen ser utilizados en la extracción de aceite de semillas, siendo los más populares el hexano y el etanol, mediante una mezcla

hexano-etanol, es posible extraer más del 98% de los ácidos grasos presentes en la biomasa, sin embargo, al ser el etanol un buen solvente de extracción, su selectividad hacia los lípidos es relativamente baja comparada con otros solventes.

Una metodología basada en solventes químicos fue propuesta por Folch et al, la cual extrae lípidos tanto polares, como no polares, esto se logra debido a la utilización de un solvente apolar, el cual disuelve los lípidos neutros, en combinación con un solvente relativamente polar, el cual disuelve los lípidos polares presentes en la muestra sometida a extracción.

Estas propiedades de los solventes fueron originalmente aprovechadas para desarrollar un método basado en la mezcla metanol/cloroformo, seguido de una purificación de los extractos con una solución de KCl. Luego, en 1959, Bligh & Dyer, modificaron el método de Folch, y obtuvieron un método rápido de extracción de lípidos que es usado en la actualidad y se ha probado con éxito en la extracción de aceite de semillas (**Hernandez, 2008**).

#### **2.4.1.1 Extracción por el método Bligh & Dyer**

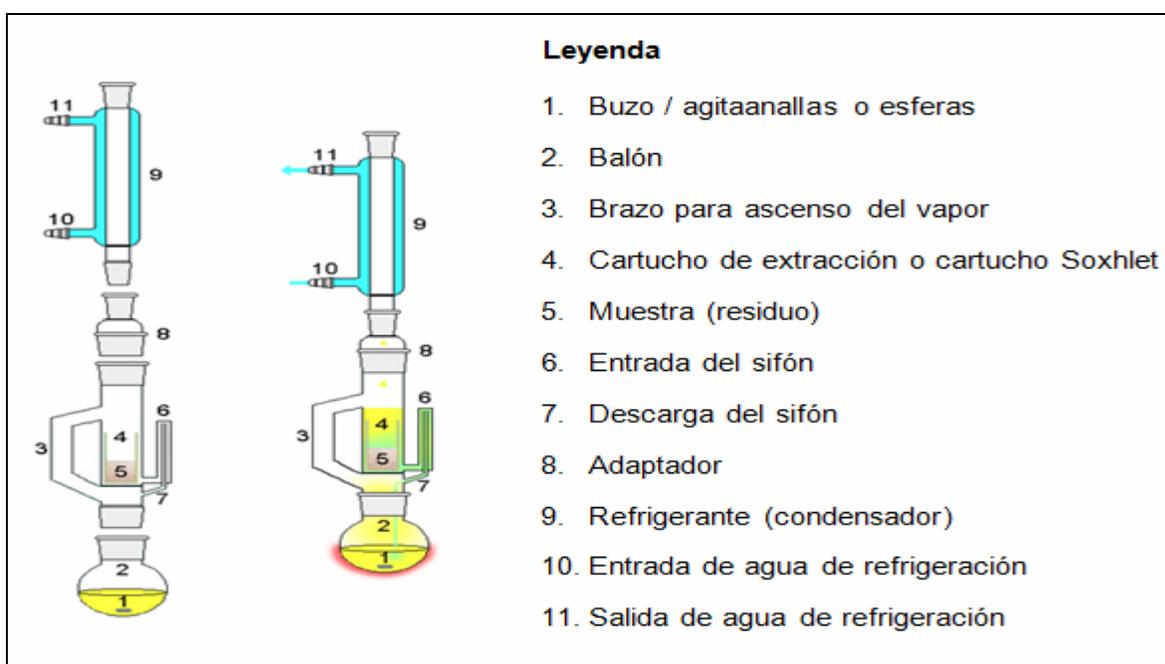
El método de Bligh & Dyer consiste en la homogenización a alta velocidad de la biomasa, con una mezcla metanol/cloroformo en una proporción de 2 a 1, seguidamente se agrega una parte de cloroformo y se deja homogenizar por 30 segundos, después se agrega una parte de agua y se deja homogenizar por otros 30 segundos. Luego de esto se realiza una filtración y una centrifugación, después de la cual quedan separadas las fases de metanol y cloroformo, se realiza una evaporación del cloroformo y se obtiene el aceite extraído. Este método ha obtenido muy buenos resultados en la extracción de aceite de semillas y se utiliza con frecuencia como complemento de métodos de destrucción mecánica o de autoclavado, aunque posee la desventaja de ser poco amigable con el ambiente debido a la toxicidad de los solventes utilizados.

#### **2.4.1.2 Método de extracción Soxhlet**

El extractor Soxhlet o simplemente Soxhlet (en honor a su inventor Franz von Soxhlet) es un tipo de material de vidrio utilizado para la extracción de compuestos, generalmente de naturaleza lipídica, contenidos en un sólido, a través de un solvente a fin. El sistema de extracción soxhlet ha sido ampliamente utilizado en la extracción de aceite de semillas,

este sistema se compone de un balón donde se encuentra un solvente orgánico, que es calentado hasta ebullición, un tubo de extracción soxhlet, donde es colocada la muestra, la cual va contenida en un cartucho de celulosa y un condensador.

Después de evaporarse el solvente orgánico es condensado y cae al tubo Soxhlet, en el cual extrae el aceite contenido en la biomasa hasta que el tubo se llena, cuando el tubo está lleno de solvente, este es sifonado hasta el balón que contiene el resto de solvente y se repite el proceso (**Molina, Robles, Giménez, Sánchez, García, García, 1994**).



[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Soxhlet\\_extractor.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Soxhlet_extractor.png) **Figura 2.7**

### **Sistema de extracción Soxhlet.**

#### **2.4.1.3 Extracción mediante fluidos supercríticos**

Estos métodos surgieron como una alternativa al empleo tradicional de grandes cantidades de solventes tóxicos para realizar extracciones, de este tipo de procesos los más prometedores son la extracción con fluidos supercríticos (SFE) y la extracción con agua subcrítica (SWE). Estas técnicas se caracterizan por poseer cortos tiempos de extracción y altas selectividades.

Un fluido recibe el nombre de supercrítico, cuando es forzado a permanecer a unas condiciones de presión y temperatura superiores a sus presiones y temperaturas críticas (figura 2.8), bajo esas condiciones el fluido posee características tanto de un gas, como de un líquido, lo que le da algunas propiedades especiales como baja viscosidad y alta difusividad relativa, lo que les permite penetrar fácilmente en los sólidos y ofrecer una extracción más rápida.

Adicionalmente, a estos fluidos se les puede modificar su densidad con un cambio de presión y/o temperatura, como la densidad está ligada con la solubilidad, la selectividad del fluido puede ser modificada. Otra característica que hace interesante la utilización de la extracción con fluidos supercríticos, es la posibilidad de acoplar el sistema de extracción, con sistemas de caracterización tales como cromatografía de gases, o cromatografía de fluidos supercríticos [King, 2000]

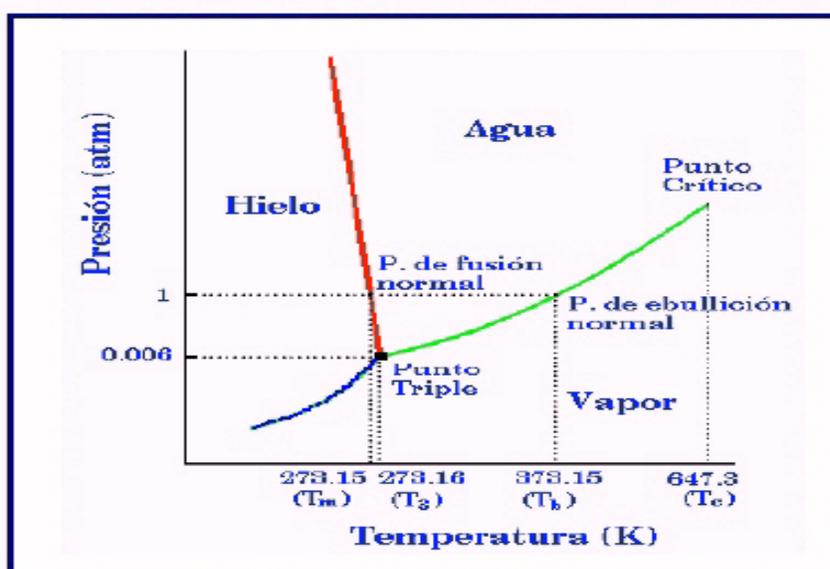


Figura 2.8 Diagrama de fase de una sustancia pura

El dióxido de carbono es el solvente más utilizado como fluido supercrítico debido a la facilidad para su eliminación después de la extracción, baja toxicidad y costo, aunque posee la desventaja de tener una baja polaridad, por lo que su eficiencia es baja a la hora de extraer componentes polares. La extracción mediante agua subcrítica (SWE), también ha surgido como una técnica útil para reemplazar la extracción tradicional,

posee la ventaja de ser amigable con el ambiente y de gran eficiencia cuando se hace extracción en muestras sólidas. En esta técnica se utiliza agua a temperaturas entre 100 y 374 °C, y presiones entre 10 y 60 bares, para mantenerla en estado líquido, a estas condiciones, la constante dieléctrica del agua disminuye considerablemente, comparándola con la misma a temperatura ambiente, y acercándola a la constante dieléctrica del etanol (solvente orgánico tradicional en extracción).

#### **2.4.1.4 Autoclavado**

Un autoclave originalmente es un aparato que se utiliza para esterilizar instrumentos médicos u otros objetos por medio de presión y agua a altas temperaturas, el principio de extracción mediante autoclavado es similar a la extracción mediante agua subcrítica, una ventaja de esta técnica para ser utilizada en la extracción de aceite de semillas, es que se puede trabajar con la biomasa húmeda, lo cual evade la etapa de secado de la biomasa de semillas, durante la cual se pueden degradar los lípidos presentes en las semillas y aumentan los costos globales de proceso.

No obstante, todos los experimentos que utilizan autoclavado para la extracción de aceite de semillas, incorporan una etapa adicional de extracción con solvente químico, por lo cual podemos decir que el autoclavado es una técnica de pretratamiento para una posterior extracción química, que una técnica de extracción en si misma.

#### **2.4.1.5 Destrucción mecánica**

La destrucción mecánica como herramienta de extracción de componentes de las semillas, abarca varias clases de dispositivos mecánicos como homogenizadores celulares, molinos de bolas y sistemas de prensado. Los métodos de destrucción mecánica poseen la desventaja de la dificultad para la recuperación del aceite extraído, adicionalmente, al ser una técnica que destruye mediante impactos la pared celular, libera además de los lípidos, otras sustancias presentes dentro de la célula, todo esto hace que estas clases de métodos sean utilizados en combinación con métodos de solvente químico (**Minowa, Yokohama, Kishimoto, Okakurat, 1995**).

### **2.5 Palma Coroba**

La coroba tiene varios nombres científicos pero se acepta más el de *Attalea macrolepis*, es una palma de la familia palmácea, con tronco áspero y cilíndrico, sin ramas, coronados por un penacho de grandes hojas que se parten en lacinias; su altura no excede los 10 metros. Estas palmas fructifican a partir de 3 años de trasplantadas y se cosecha por 20 años, la producción es en forma de racimos los cuales nacen de la parte más baja de la copa del árbol, donde se forman los frutos unidos por un péndulo. La masa de cada racimo varía entre 5 y 40 kilogramos (**Badui, 1997**).

Se cosecha todo el año, pero la mayor producción la exhibe en mayo, junio y julio, con un rendimiento estimado en 25875kg/ ha cultivada externamente, el fruto de la coroba se asemeja al coco (*Cocos nucifera* L.), posee una masa total promedio de 30-40g y consta de un epicarpio fibroso que en estado inmaduro es de color verde y luego se torna amarillo al avanzar la madurez, un mesocarpio o pulpa comestible cuyo color varía de blanco (inmaduro) a amarillo-naranja (maduro), y un endocarpio duro que protege al endospermo.

El mesocarpio representa, en promedio, el 20% de la masa total del fruto y es utilizado en la preparación de alimentos típicos tales como "arepa" y natilla de coroba, mientras que del endospermo, que corresponde al 17% del total del fruto, se extrae artesanalmente un aceite de características químicas parecidas al aceite de coco. El mesocarpio presenta una humedad de 48,33% y un extracto etéreo del 28,36% en base seca, con un 65,31% de ácidos grasos insaturados, además de azúcares (8,05%), almidón (42,16%) y concentraciones importantes de carotenoides (**Salazar, Belén, Jiménez, Pino, 2004**).

La Palma de Coroba es originaria de Caicara del Orinoco, es uno de los pocos productos que pueden crecer en los suelos de esta zona, debido a que la acidez y alto grado de drenaje de los mismos limita la variedad de rubros que se puedan cultivar; no obstante, la naturaleza dotó a esta población con 70 mil hectáreas de bosques naturales de las cuales se pueden extraer anualmente 55 mil toneladas de Pulpa de Coroba, 28 mil de aceite de Semilla de Coroba y 133.280 de huesito de Coroba, productos con una amplia gama de aplicaciones y beneficios.

### 2.5.1 Características del fruto de la Coroba

El fruto posee un color que varía de amarillo a naranja, es de forma oblonga llegando a pesar cada uno entre 20 y 50 gramos; sus características externas son semejantes a las del coco y pueden incluirse en la categoría de los frutos semicarnosos.

#### 2.5.1.1 Cabezal

Representa el 6% del fruto, en una parte lisa y fibrosa de color verde antes de la maduración del fruto y luego obtiene una coloración marrón claro, debido a la resequedad que va experimentando a medida que transcurre el tiempo. Forma una especie de gorro que cubre la parte superior del fruto y viene a representar el punto de unión de este con el péndulo [Cartay, Ablan, 1997]

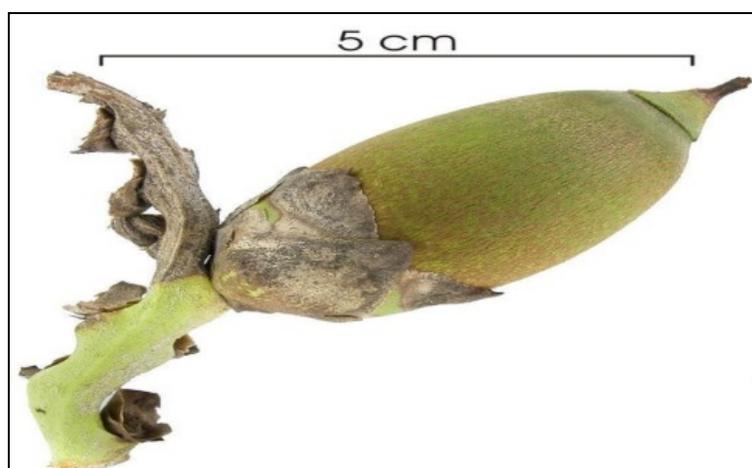


Figura 2.9 Cabezal del fruto de la Coroba.

#### 2.5.1.2 Epicarpio o concha

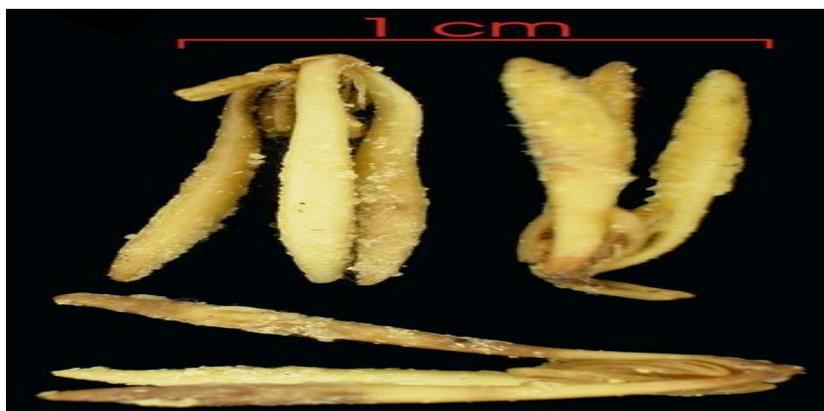
Constituye el 37% en el peso del fruto, es la parte externa del fruto de consistencia fibrosa de 2 a 3 mm de espesor inicialmente es verde y se torna amarillo o rojizo, al alcanzar la madurez [Cartay, Ablan, 1997]



**Figura 2.10 Concha o epicardio del fruto de la Coroba**

#### **2.5.1.3 Mesocarpio o pulpa**

Es una capa fibrosa y blanda; y se observa una vez eliminado el cabezal y la concha. Es comestible y su aporte representa el 14% en el peso del fruto, se torna amarillo o naranja cuando está en su punto optimo de maduración, brindando un sabor muy agradable, debido a su alto contenido de azúcar [Cartay, Ablan, 1997]



**Figura 2.11 Pulpa o mesocarpio del fruto de la Coroba.**

#### **2.5.1.4 Endocarpio o cascara**

Aporta un 34% en peso del fruto, es de forma ovalada de superficie lisa pero con ligeros canales, su espesor oscila entre 3 y 6mm, y de 35 a 50mm de largo.



**Figura 2.12 Cáscara o endocarpio del fruto de la Coroba.**

#### **2.5.1.5 Almendra o semilla**

Se encuentra depositada en el interior de la cascara, es de forma oblonga, recubierta por una membrana negra (episperma) semejante a la que cubre la semilla de coco, fruto con el cual puede ser comparada, ya que el sabor, color y textura son similares. Constituye el 9% del peso total del fruto; su dimensión puede alcanzar entre 10 y 15mm de espesor y de 20 a 30mm de largo. El aceite obtenido de la semilla es considerado como potencial sustituto de los aceites de coco y palmiste de la palma africana [Cartay, Ablan, 1997]



**Figura 2.13 Semilla o almendra del fruto de la Coroba.**

### 2.5.2 Ubicación de la palma coroba

La coroba es una planta autóctona del Municipio Cedeño, cuyo fruto forma parte de la tradición culinaria de la región. El municipio Cedeño, está situado en 4° y 8° de latitud norte y 64° y 67° 30' de longitud oeste. Este municipio cubre 67.624 km<sup>2</sup>. Sus límites son casi totalmente el Orinoco por el oeste y el norte, pero este río se usa como límite para el municipio de los Estados Guárico y Anzoátegui al norte, al este el Municipio Sucre, al sur limita con el Estado Amazonas y por el oeste limita por medio del Orinoco con el Estado Apure (**Rodríguez, Silva, 1981**).



Figura 2.14 Mapa del estado Bolívar

### 2.5.3 Producción artesanal del aceite de semilla de coroba

La extracción rural de aceite de coroba se produce cerca de las zonas de producción. Esto supone productores en pequeña escala que tienen acceso a esta materia prima, ayuda a asegurar que las semillas de aceite percederas se elaboran rápidamente, y reduce los costos de transporte (**Rodríguez, Silva, 1981**). Para mantener la calidad de la semilla de coroba, es necesario proceder con cuidado durante y después de la cosecha de este fruto oleaginoso percedero y susceptible de que sus grasas se descompongan. Las magulladuras en los frutos frescos de esta palmera aceleran la actividad de las lipasas, conduciendo a la degradación de las grasas. Para la producción artesanal de este fruto se cumplen las siguientes etapas:

- **Almacenamiento.** La humedad de las semillas oleaginosas influye en gran medida en la calidad de las materias primas. El secado al sol reduce la humedad de las semillas de aceite por debajo del 10 por ciento. Una adecuada ventilación o aireación de las semillas durante el almacenamiento asegura que se mantengan niveles bajos de humedad y evita el desarrollo microbiano.
- **El descortezado** o pelado separa la porción portadora de aceite de la materia prima, y elimina las partes con poco o ningún valor nutritivo.
- **Extracción.** En la extracción del aceite, las semillas molidas se mezclan con agua caliente y se hierven para permitir que el aceite flote y sea recogido. La torta conformada por las semillas de coroba molidas y agua se desecha.
- **Deshidratación.** Las trazas de agua presente en el aceite crudo se eliminan hirviéndolo en calderos poco profundos, después de depositarlo en ellos.
- **Filtrado:** después de hervido, el aceite es filtrado para eliminar las partículas de sólidos que pudiesen estar presentes.



**Figura 2.15 Proceso de extracción artesanal del aceite de semilla de coroba**

## 2.6 Extracción y producción a escala industrial de aceites comestibles

La extracción de aceites comestibles a escala industrial se lleva a cabo cumpliendo las siguientes etapas:

### 2.6.1 Preparación de la materia prima

- Los granos de las semillas son llevados dentro de una tolva por una correa transportadora y luego con un separador magnético se obtiene el hierro para prevenir que los restos del metal se mezcle con las semillas y causen daño a las partes móviles del equipo descascarador. Alguna piedra pequeña o arenilla que pase desapercibida y que haya sido mezclada con las semillas desde la granja son separadas por un diseño especial de sacar piedras antes de comenzar el descascarado de las semillas.
- Después de empezar el triturado, las semillas descascaradas son separadas de las cáscaras por un dispositivo filtrador. Las cáscaras son sopladas a través de un conducto por un ciclón, luego separadas y recolectadas para ser usadas como combustible para generar menor presión de vapor donde se cocinará las semillas vegetales antes mencionadas.

- Las semillas son colocadas dentro de un expulsador a presión que obtendrá el aceite desde las semillas. Después de ser filtrado, el aceite es bombeado hacia un tanque almacenador en la sección de refinería.

### **2.6.2 Extracción**

- La pasta de harina expulsada desde el expulsador a presión es alimentada hacia un rodillo de ruptura donde es molido a granos finos antes de colocarlo dentro de un extractor de celdas rotativo.
- En este punto, la consistencia de la pasta de harina seca es aproximadamente del 10% de aceite vegetal. Ya que el expulsador mecánico continuo generaba una gran pérdida de aceite, el método de extracción con solventes orgánicos es usado para extraer las sobras de aceite desde el residuo de harina. Hexano normal, que es un solvente orgánico no tóxico, fue usado en la extracción de aceite por muchos años.
- El solvente evaporado es recuperado a través de un sistema de enfriamiento y reciclado dentro del extractor. El residuo del aceite que queda es bombeado dentro del tanque almacenador para ser refinado.
- La pasta del extractor es descargada y transportado al tostador disolvente, donde es vaporizado. El solvente libre de harina es enfriado y transportado a un dispositivo filtrador, donde la harina o pasta cruda es separada del polvo fino. La pasta o harina cruda es asentada en el polvo fino y se agrega a la pasta filtrada.
- El aceite puro y rico en proteínas vegetales de la harina o pasta de semillas es luego formada en bolitas de tamaños uniformes. Estas bolitas son empaquetadas en bolsas de polipropileno y vendidas como alimento animal.

### **2.6.3 Refinado**

El crudo de aceite generalmente contiene algunos ácidos grasos libres, almidón, goma, sustancias colorantes y otras sustancias que hacen al aceite nubloso, turbio y oscuro en color y con olores indeseables. Un completo proceso de refinación purifica el aceite y lo hace aceptable para su uso en la cocina a través de una refinación alcalino-ácido, seguido de una decoloración y deodorización.

- Los ácidos grasos libres son neutralizados con soda caustica y ceniza de soda, formando un concentrado. Este concentrado o “pies” como comúnmente lo llaman son obtenidos a través de una fuerza centrífuga. El aceite neutralizado es bombeado hacia un tanque de almacenamiento.
- El aceite neutralizado es mezclado con arcilla activa en la blanqueadora, cantidad por cantidad. El aceite blanqueado es separado desde la arcilla por una presión filtradora automática y es bombeado hacia el tanque medidor para ser deodorizado.
- La deodorización es realizada para remover las impurezas no deseadas con alta presión de vapor en una cámara sellada al vacío. Después se este paso final de refinación, deodorización, transparencia y neutralizado del aceite, este queda disponible para ser empaquetado (**Fennema, 1993**).



**Figura 2.16** Planta de extracción de aceites.

## **2.7 Análisis químicos del aceite**

### **2.7.1 Acidez Libre e Índice de Acidez**

Es la presencia natural de la acidez libre en las grasas, es decir la suma de los ácidos grasos no combinados, resultado de la hidrólisis o descomposición lipolítica de algunos triglicéridos. (Hidrólisis enzimático, tratamiento químico, o acción bacteriana). El Índice

de Acidez se define como el número de miligramos de KOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa.

La acidez de las sustancias grasas es muy variable. Generalmente las grasas frescas o recién preparadas no contienen ácidos grasos libres o si los contienen los tienen en muy pequeñas cantidades, al envejecer, especialmente sino han estado protegidos de la acción del aire y la luz su acidez crece lentamente al principio y con cierta rapidez después. La acidez tiene importancia tanto para aceites comestibles como para los lubricantes, porque ni unos ni otros pueden contener ácidos grasos libres más allá de un límite dado. Se considera como impureza en las grasas.

La acidez puede expresarse en varias formas. Cuando se expresa como porcentaje, los cálculos se hacen generalmente bajo el supuesto de que el peso molecular del ácido libre es igual al del oleico. Sin embargo no toda la acidez resultante de la hidrólisis es oleína, ni tampoco el peso molecular medio de los ácidos grasos libres es equivalente al ácido oleico. Puede expresarse el % de acidez en el ácido graso que predomine en el aceite (**Fennema, 1993**). La acidez libre se determina según la norma **COVENIN 325:1996**, expresando matemáticamente mediante la ecuación siguiente:

$$A = \frac{0,200 \times V \times N}{G} \times 100 \quad (\text{Ec.2.1})$$

**Donde:**

**V:** Volumen de la solución de hidróxido de sodio gastados en la valoración de la muestra (ml).

**N:** Normalidad de la solución de hidróxido de sodio (eq-g/L)

**G:** Masa de la muestra (g).

**0,200:** Peso molecular del Acido Laúrico.

Para obtener el índice de acidez se utiliza la siguiente ecuación:

$$Ia = 2,80 \times A \quad (\text{Ec.2.2})$$

**Donde:**

**Ia:** Índice de acidez (como ácido láurico).

**A:** Acidez, expresada como ácido láurico.

**2,80:** Factor de conversión para la acidez como ácido láurico.

**Tabla 2.7 Valores previsto del índice de acidez de acuerdo al peso de la muestra analizada**

Grado de acidez previsto	Peso de la muestra (g)	Precisión de la pesada de la muestra (g)
<1	20	0,05
1 - 4	10	0,02
4 - 15	2,5	0,01
15 - 75	0,5	0,001
>75	0,1	0,0002

### 2.7.2 Índice de peróxido

El Índice de Peróxidos se define como los miliequivalentes de oxígeno activo contenidos en un kilogramo de grasa, calculados a partir del yodo liberado del yoduro de potasio, operando en las condiciones especificadas según la metodología analítica. Las sustancias que oxidan al yoduro de potasio en las condiciones descritas, las consideramos peróxidos u otros productos similares provenientes de la oxidación de las grasa, por lo cual el índice obtenido es considerado, con una aproximación bastante aceptable, como una expresión cuantitativa de los peróxidos de la grasa muestra (**Ziller, 1996**).

El índice de peróxido se determina según la Norma COVENIN 508:1997, expresándose matemáticamente mediante la ecuación siguiente:

$$IPO = \frac{N \times (V - V_1)}{P} \times 1000 \quad (\text{Ec.2.3})$$

**Donde:**

**IPO:** Índice de peróxido (miliequivalente de oxígeno/ Kg de muestra)

**N:** 0,1 normalidad de la solución de tiosulfato de sodio (eq-g/ L)

**V:** Volumen de solución de tiosulfato de sodio en la titulación (ml)

**V<sub>1</sub>:** Volumen de solución de bisulfato de sodio gastada en la titulación en blanco (ml)

**P:** Peso de la muestra (g)

**Tabla 2.8 Valores del índice de peróxido esperado según el peso de la muestra.**

Índice de peróxidos	Peso de la muestra (g)
0 a 12	5,0 a 2,0
12 a 20	2,0 a 1,2
20 a 30	1,2 a 0,8
30 a 50	0,8 a 0,5
50 a 90	0,5 a 0,3

### 2.7.3 Índice de saponificación

El índice de saponificación se define como el peso en miligramos de hidróxido de potasio necesario para saponificar 1 gramo de grasa. Si la grasa es aceptablemente pura, el método constituye un sistema de clasificación de los aceites y grasas, puesto que el índice de saponificación está inversamente relacionado con la longitud de los ácidos grasos constituyentes de los glicéridos de la grasa. El método es aplicable a aceites y grasas con un contenido de ceras no superior al 5 % (**Ziller, 1996**). La norma COVENIN que rige este ensayo es la norma 323: 1998 y la fórmula para determinarla es la siguiente.

$$IS = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 56,1}{G} \quad (\text{Ec.2.4})$$

**Donde:**

**IS:** índice de saponificación.

**V<sub>1</sub>:** ml de HCl gastados en la valoración del ensayo en blanco.

**V<sub>2</sub>:** ml de HCl gastados en la valoración de la muestra.

**N:** normalidad de la solución de HCl.

**G:** peso de la muestra en gramos (g).

**Tabla 2.9 Valores del índice de saponificación de algunos aceites comúnmente usados en la industrial.**

Tipo de Aceite	Índice de Saponificación g KOH/g grasa
Oliva	0,134
Coco	0,190
Palma	0,141
Girasol	0,134
Recino	0,128
Almendra	0,136
Aguacate	0,133
Soja	0,135
Maíz	0,136
Sésamo	0,133
Jjoba	0,069
Palmiste	0,156
Germen de trigo	0,132
Manteca de cacao	0,13

#### 2.7.4 Índice de Yodo

Es la medida de las insaturaciones presentes en los ácidos grasos que conforman un triglicérido (dobles enlaces). Los ácidos grasos no saturados son líquidos a temperatura ambiente. El índice de yodo está relacionado con el punto de fusión o dureza y densidad de la materia grasa y se define como los gramos de halógeno calculados en yodo que pueden fijar bajo ciertas condiciones 100 gramos de grasa (**Ziller, 1996**). El índice de

yodo es una propiedad química relacionada con la insaturación, con el índice de refracción y con la densidad: (a mayor índice de yodo, mayor índice de refracción y mayor densidad). Este ensayo se determina según la norma COVENIN 324:2001 y el índice de yodo se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$I = \frac{(B - S) \times N \times 12,69}{G} \quad (\text{Ec.2.5})$$

**Donde:**

**I:** índice de yodo.

**B:** titulación del blanco en mililitros.

**S:** titulación de la muestras en mililitros.

**N:** normalidad de la solución de tiosulfato sodio.

**G:** masa de la muestras en gramos.

**Tabla 2.10 Valores del índice de yodo esperado según el peso de la muestra.**

Índice de yodo	Peso de la muestra (g)
<5	3,00
5 - 20	1,00
21 - 50	0,40
51 - 100	0,20
101 - 150	0,13
151 - 200	0,10

#### 2.7.4 Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es una técnica cromatografía en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatografía. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

Existen dos tipos de cromatografía de gases (GC): la cromatografía gas-sólido (GSC) y la cromatografía gas-líquido (GLC), siendo esta última la que se utiliza más ampliamente, y que se puede llamar simplemente cromatografía de gases (GC). En la GSC la fase estacionaria es sólida y la retención de los analitos en ella se produce mediante el proceso de adsorción. Precisamente este proceso de adsorción, que no es lineal, es el que ha provocado que este tipo de cromatografía tenga aplicación limitada, ya que la retención del analito sobre la superficie es semipermanente y se obtienen picos de elución con colas. Su única aplicación es la separación de especies gaseosas de bajo peso molecular. La GLC utiliza como fase estacionaria moléculas de líquido inmovilizadas sobre la superficie de un sólido inerte.

La GC se lleva a cabo en un cromatógrafo de gases. Éste consta de diversos componentes como el gas portador, el sistema de inyección de muestra, la columna (generalmente dentro de un horno), y el detector [McNair, Miller, 1998]

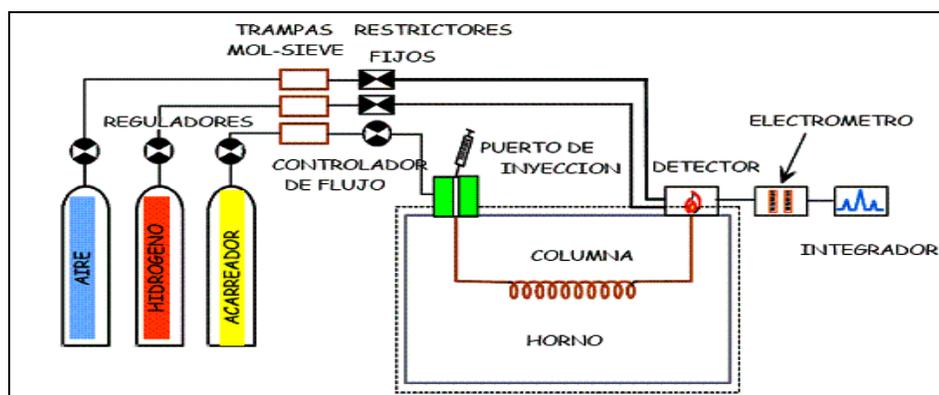


Figura 2.17 Diagrama de un cromatógrafo de gases.

## 2.8 Análisis estadísticos

### 2.8.1 Análisis de varianza la distribución F

En estadística, el análisis de la varianza o análisis de varianza (ANOVA, según terminología inglesa) es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas. Las técnicas iniciales del análisis de varianza fueron desarrolladas por el estadístico y genetista R. A. Fisher en los años 1920 y 1930 y es

algunas veces conocido como Anova de Fisher o análisis de varianza de Fisher, debido al uso de la distribución F de Fisher como parte del contraste de hipótesis (**Spiegel, Schiller, 2007**)

El ANOVA parte de algunos supuestos que han de cumplirse:

- La variable dependiente debe medirse al menos a nivel de intervalo.
- Independencia de las observaciones.
- La distribución de los residuales debe ser normal.
- Homocedasticidad: homogeneidad de las varianzas.

Cuando se satisface estas condiciones, F se utiliza como la distribución del estadístico de prueba.

Paso1: Plantear la Hipótesis nula y la Hipótesis alternativa.

Ho:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  hipótesis Nula

H1:  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$  hipótesis alternativa

Si no se rechaza la hipótesis Nula (Ho), se concluye que no hay diferencia en los promedios. Si se rechaza Ho, se concluye que hay diferencia al menos un par de promedios.

Paso 2: Seleccionar el nivel de significancia, puede elegirse 0.01, 0.05, etc.

Paso 3: Determinar el estadístico de prueba, el estadístico de prueba sigue la distribución F.

Paso 4: Establecer la regla de decisión. Para establecer esta regla se necesita el valor crítico. El valor crítico del estadístico en base a los grados de libertad. Donde el número de grados de libertad del numerador es igual al número de tratamientos designado por (K-1).

El número de grados de libertad en denominador es igual al número de observaciones menos el numero de tratamientos ( n- k ). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

Suma de cuadrados totales (SCT)

$$SCT = \sum X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (\text{EC 2.6})$$

Suma de cuadrados de tratamiento (SCtrat)

$$SC_{\text{trat}} = \sum \sum \frac{X_n^2}{n} - \frac{T^2}{N} \quad (\text{EC 2.7})$$

Suma de cuadrados de error (de residuos)(SCE)

$$SC_E = SCT - SC_{\text{trat}} \quad (\text{EC 2.8})$$

Cuadrados medios:

Cuadrados medio de tratamiento (CMtrat)

$$CM_{\text{trat}} = \frac{SC_{\text{trat}}}{(k-1)} \quad (\text{EC 2.9})$$

Cuadrados medio del error (CME)

$$CM_E = \frac{SC_E}{(N-k)} \quad (\text{EC 2.10})$$

Calculo de la razón F (Fcal)

$$F_{\text{cal}} = \frac{CM_{\text{trat}}}{CM_E} \quad (\text{EC 2.11})$$

Donde:

Xij = resultado de cada uno de los tratamientos.

Xi = sumatoria de cada tratamiento.

T = sumatoria total de todas las corridas.

k = Total de tratamientos.

$n$  = Número de repeticiones por cada tratamiento.

$N$  = Total de resultados obtenidos.

Paso5: Seleccionar la muestra , realizar los cálculos y tomar una decisión. Es decir es conveniente reunir los cálculos del estadístico F en una tabla ANOVA. El Formato de la Tabla ANOVA es el siguiente:

**Tabla 2.11 Formato ANOVA**

TABLA ANOVA				
FUENTE DE VARIACION	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	$SC_{\text{trat}}$	$k-1$	$CM_{\text{trat}} = \frac{SC_{\text{trat}}}{(k-1)}$	$F_{\text{cal}} = \frac{CM_{\text{trat}}}{CM_{\text{E}}}$
Error	$SC_{\text{E}}$	$n-k$	$CM_{\text{E}} = \frac{SC_{\text{E}}}{(N-k)}$	
Total	SCT	$n-1$		

Con los grados de libertad para el numerador y los grados de libertad del denominador se entra a la tabla t de Puntos porcentuales de la distribución F” (Montgomery, 1991) y se obtiene el  $F_{\text{tab}}$  se aplica el criterio de decisión [Tejedor, 1999].

Si  $\{F_{\text{cal}} > F_{\text{tab}}\}$  se rechaza la  $H_0$ , en caso contrario se acepta.

### 2.8.2 Mínima diferencia significativa

La mínima diferencia significativa (LSD). Es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error. El valor de la LSD se encuentra referido a la distribución de t por la siguiente relación [Tejedor, 1999].

$$LSD = t_{\alpha/2} \left( \frac{2CME}{n} \right)^{1/2} \quad (EC 2.12)$$

Donde:

LSD: Mínima diferencia significativa para un riesgo  $\alpha$

$t_{\alpha/2}$ : Valor de la tabla para  $\alpha$  y el número de grados de libertad asociado con la media de los cuadrados del error.

CME media de los cuadrados del error residual.

n: número de observaciones

El factor 2 aparece en la ecuación 2.11 porque en esta prueba se están comparando dos medias.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1 Procedimiento experimental**

El procedimiento experimental para la extracción del aceite de la semilla de la palma coroba, mediante la aplicación del método Soxhlet y la caracterización realizada a los aceites extraídos con los tres diferentes tipos de solventes, acetona, éter de petróleo y hexano, se ejecutaron en el laboratorio Planta Piloto y el Laboratorio de Biomoléculas de la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR), Núcleo Canoabo, estado Carabobo. En estas instalaciones se efectuaron los análisis para cada ensayo rigiéndose por las normas COVENIN.

La materia prima utilizada para el desarrollo de este trabajo es la semilla de la palma, la cual tiene su origen en Caicara del Orinoco (Municipio Cedeño, estado Bolívar). La selección se hizo considerando uniformidad en la semilla y características sensoriales (olor, color o apariencia general) típicas de este fruto. La figura 3.1 muestra las etapas que se llevaron a cabo para el cumplimiento y desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto de investigación, representadas mediante diagrama.



**Figura 3.1 Esquema para la extracción y análisis de los aceites.**

### 3.1.1 Preparación de la muestra

- Las semillas de coroba fueron separadas de la cáscara y sometidas a un proceso de molienda en un molino manual.
- Las semillas molidas se colocaron en una bandeja previamente pesada, por diferencia se obtuvo el peso de la muestra.
- Por último, la bandeja con las semillas se introdujeron en un secador solar, donde permanecieron mientras se realizaron los diferentes análisis.

### 3.1.2 Extracción del aceite mediante la aplicación del método Soxhlet (Planta Piloto). Determinación del tiempo de extracción

- Se tomó aproximadamente 1 Kg de muestra del secador solar, seguidamente se introdujo en la balanza y se le determinó su humedad.
- La muestra se envolvió en un papel de filtro y se colocó en el cartucho de celulosa del aparato soxhlet.

- Se midieron 15 L de hexano y se colocó en el balón, inmediatamente se encendieron las mantas de calentamiento.
- Cuando el hexano inició el proceso de ebullición se comenzó a tomar el tiempo, el proceso se mantuvo a temperatura constante de 60 °C.
- Al transcurrir una hora aproximadamente, se tomó una pequeña muestra de la descarga de solvente con el vidrio de reloj y se le determinó el índice de refracción.
- Esto se realizó cada hora, hasta que el índice de refracción determinado del solvente fuese igual al índice de refracción del hexano puro.
- Al transcurrir 3 horas el índice de refracción fue igual al del hexano puro, luego se procedió a apagar las mantas de calentamiento.
- Se encendieron nuevamente a una temperatura menor aproximadamente 50 °C y se inició el proceso de recuperación de solvente, haciéndolo circular y recuperándolo en el condensador.
- Cuando se detuvo el goteo de solvente se apagaron las mantas de calentamiento, se dejó enfriar la muestra de aceite extraído, para luego introducirlo en la estufa a 100 °C durante 30 minutos.
- Se dejó enfriar la muestra a temperatura ambiente y se filtró por succión, luego se dejó enfriar el aceite para realizar los diferentes análisis.

### **3.1.3 Extracción del aceite mediante la aplicación del método Soxhlet (montajes de laboratorio)**

Se realizaron 3 corridas para cada uno de los solventes extractores, acetona, éter de petróleo y hexano.

- Se utilizó aproximadamente 13 gramos de materia prima (semillas de coroba), las cuales se depositaron en el cartucho de celulosa del aparato soxhlet.
- Se midió aproximadamente 110 ml de solvente extractor y se introdujo en el balón que conforma el montaje del equipo soxhlet.

- Se encendieron las mantas de calentamiento y se inició el registro del tiempo cuando el solvente extractor comenzó a evaporarse. Al transcurrir aproximadamente una hora se le agregó cierta cantidad del solvente (de ser necesario).
- Transcurridas las 3 horas se apagaron las mantas de calentamiento, se dejó enfriar la muestra y se encendieron nuevamente las mantas haciendo circular el solvente para su recuperación.
- Al disminuir el goteo de solvente se apagaron las mantas de calentamiento, la muestra de aceite se llevó a la estufa a 100 °C durante 30 minutos, con la finalidad de evaporar los restos de solventes presentes en el aceite.
- Por último se dejó enfriar la muestra de aceite a temperatura ambiente en un desecador de vidrio provisto de sílica con gel deshidratado durante 20 minutos, se pesó y se dejó lista la muestra para ser sometida a los diferentes análisis.

#### **3.1.4 Caracterización fisicoquímica de cada uno de los aceites extraídos**

Se realizaron diversos ensayos que permitieron caracterizar fisicoquímicamente el aceite de coroba extraído con cada uno de los solventes empleados, Dichos ensayos se llevaron a cabo según las normas COVENIN para aceites y grasas. A continuación se detallan cada uno de ellos.

##### **3.1.4.1 Preparación de la muestra de aceite**

Procedimiento aplicado según Norma COVENIN 635:1997.

- Por ser el aceite una muestra líquida, clara y sin sedimentos, se homogeneizó dicha muestra volteando el recipiente varias veces.

##### **3.1.4.2 Determinación del índice de acidez**

Procedimiento aplicado según Norma COVENIN 325:2001.

- Se pesaron aproximadamente 5 g de muestra líquida bien homogenizado en un frasco erlenmeyer de 250 ml.

- Se le añadió a la muestra en caliente 50 ml de alcohol etílico al 95 % neutralizado frente a la fenolftaleína y se le agregaron unas gotas de dicho indicador.
- Para luego titularse con una solución de NaOH 0,1 N, agitándose vigorosamente hasta obtener el punto de equivalencia, es decir hasta observar un color rosado pálido persistente por más de 30 minutos.

#### **3.1.4.3 Determinación del índice de peróxido**

Procedimiento aplicado según Norma COVENIN 508:2001.

- Se pesaron aproximadamente 5 g de muestra en un erlenmeyer de 250 ml y se le añadió 30 ml de una mezcla de ácido acético glacial-cloroformo (3:2).
- Luego se le agregó 1 ml de solución saturada de yoduro de potasio, se tapó el erlenmeyer se agitó suavemente y se espero 1 minuto.
- Transcurrido ese tiempo se le agregó 30 ml de agua destilada y se valoró con una solución de tiosulfato de sodio 0,1 N, empleando como indicador aproximadamente 0,5 ml de solución de almidón.
- Se agitó vigorosamente el erlenmeyer para liberar el yodo de la capa de cloroformo y se continuó con la titulación hasta la decoloración de la capa acuosa (desaparición del color azul). En forma simultánea se realizó un ensayo en blanco.

#### **3.1.4.5 Determinación del Índice de Yodo por el método de Wijs**

Procedimiento aplicado según Norma COVENIN 324:2001

- Se pesó 0,5 gramos de muestra aproximadamente limpio y transparente en un elermeyer de 250 ml.
- Se agregó 20 ml de tetracloruro de carbono, luego se añadió con una pipeta volumétrica de 25 ml de solución de Wijs, se agitó suavemente y se mantuvo en un lugar oscuro durante 30 minutos.

- Transcurrido el tiempo se le agregó 20 ml de yoduro de potasio al 15% para reducir el halógeno en exceso, seguidamente se le adiciono 100 ml de agua destilada.
- Se titulo con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N, añadiendo gradualmente con agitación constante hasta casi desaparecido el color amarillo.
- Por último se le agregó 1 ml de solución de almidón y se continuo la valoración hasta que desapareció el color azul. En forma paralela se realizo en ensayo en blanco.

#### **3.1.4.6 Determinación del perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases**

Procedimiento aplicado según Norma COVENIN 2281:2002

##### **3.1.4.6.1 Método de ácido perclórico para ácidos grasos de cadenas largas.**

- Se pesó aproximadamente 0,5 gramos de aceite en un matraz de fondo redondo y mediante una pipeta volumétrica se le agregó 0,8 mililitros de solución de NaOH 0,5 N.
- Se acopló el condensador al matraz y se calentó en baño de agua hirviente, hasta la desaparición de los glóbulos de aceite.
- Se le añadió 0,8 mililitros de ácido perclórico con la pipeta volumétrica por la parte superior del condensador y se dejó reaccionar por 10 minutos.
- Luego, se agregó 10 mililitros de éter de petróleo y se mantuvo en ebullición por 3 minutos.
- Se desacopló el matraz del condensador, transfiriendo el líquido al embudo de separación, se lavó el matraz con agua destilada fría, se pasó al embudo y se le agregó 40 mililitro de solución saturada de cloruro de sodio agitando vigorosamente.

- Se descartó la parte acuosa del embudo de separación y se lavó varias veces hasta obtener reacción neutra.
- Se descartó el agua y ácidos grasos disueltos en el éter, se pasó a un vaso de precipitado de 50 ml, luego se le agregó 1 gramo de sulfato de sodio anhídrido el cual se desecó y filtró a través de papel de filtro.
- Se recogió el filtrado y se inyectó inmediatamente 5 microlitros en el cromatógrafo de gases.

#### **3.1.4.6.2 Método del trifluoruro de boro**

##### **3.1.4.1.6.1 Para ácidos grasos**

- Se pesó aproximadamente 300 miligramos del aceite, se colocó en un balón de fondo redondo y se le añadió 7 mililitros de trifluoruro de boro:metanol.
- Se procedió a colocar el balón en reflujo en un baño por 2 minutos, inmediatamente se le agregó 5 mililitros de n-heptano a través del tope del condensador y se dejó en ebullición durante 1 minuto.
- Se retiró el balón del calor, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se le agregó solución saturada de sal con agitación hasta llevar el nivel al cuello del balón.
- Se tomó 2 mililitros de la capa orgánica, se transfirió a viales que contenían sulfato de sodio anhídrido y se inyectó 5 microlitros de la solución seca de heptano directamente al cromatógrafo.

##### **3.1.4.1.6.2 Para grasas y aceites**

- En un balón de fondo redondo se colocó aproximadamente 300 miligramos de aceites y se le agregó 6 mililitros de hidróxido de sodio 0,5 N en metanol anhídrido.
- Se colocó el balón en reflujo en un baño térmico hasta que los glóbulos de aceites se disolvieron y se le añadió 7 mililitros de trifluoruro de boro:metanol por encima del condensador.

- Se dejó en reflujo por 2 minutos, transcurrido ese tiempo se le agregó 5 mililitros de n-heptano y se dejó en reflujo por 1 minuto más.
- Se dejó enfriar a temperatura ambiente, se le añadió solución saturada de cloruro de sodio hasta llegar al nivel del cuello del balón y se trasladó 2 mililitros de la capa superior a viales que contenían sulfato de sodio anhidrido.
- Por último se inyectó 5 microlitros a cromatógrafo de gases.

#### **3.1.4.6.3 Método de metóxido de sodio**

- Se colocó un tubo de ensayo de 13 mm x 100 mm en un bloque de calentamiento a 50°C, por un minuto antes de añadir el aceite.
- Se agregó dos perlas de vidrio en cada tubo de ensayo y se transfirió 2 gotas de aceite al tubo de ensayo dentro del bloque de calentamiento.
- Se le añadió 1,5 mililitros de reactivo de derivatización, se dejó reaccionar por 2 minutos agitando el tubo cada 30 segundos y se volvió a colocar en el bloque.
- Después de dos minutos se removió el tubo del calor, se le añadió 1 mililitro de heptano, se llenó el tubo con solución saturada de cloruro de sodio y se tapó agitando vigorosamente por 15 segundos.
- Al separarse las fases, se transfirió con una pipeta Pasteur la capa de arriba a un vial de 2 mililitros con 100 miligramos de sulfato de sodio anhidrido y se inyectó 5 µl en el cromatógrafo de gas.

#### **3.1.5 Análisis estadístico de caracterización fisicoquímica de cada uno de los aceites extraídos**

Para establecer el efecto del método Soxhlet mediante el empleo de tres diferentes tipos de solventes en las características fisicoquímicas de los aceites extraídos, se aplicó un análisis de varianza a un nivel de significación estadística de 95 % ( $\alpha=0,05$ ), considerando un modelo lineal aditivo de tres tratamientos (dados por las extracciones realizadas con los tres tipos de

solventes) y tres repeticiones (n=3) en cada ensayo. Para dilucidar diferencias significativas se aplicó la prueba de “Mínima Diferencia Significativa” (LSD) también a un nivel de significancia de 95%.

## **3.2 Descripción de equipos, materiales y sustancias**

### **3.2.1 Equipos**

- Balanza analítica Sartorius Basic modelo BA1105 apreciación  $1 \times 10^{-4}$ g.
- Balanza Adventure OHAUS Modelo AR2140
- Baño de maría.
- Calculadora marca Hewlett Packard modelo 49g+ graphing.
- Computador DELL RAN 2GB.
- Desecador 55/38 Lubricate Sleeve Pirex.
- Equipo de extracción sólido-líquido Didacta Modelo 1C47D-03
- Estufa.
- Impresora marca Epson Stylus, modelo CX7300.
- Mantas Calentadoras Electro-Termal Modelo 0250CX1
- Molino marca Corona.
- Plancha calentadora Corning Modelo PC-420
- Refrigerador sin escarcha marca LG.

### **3.2.2 Gases**

- Aire seco y limpio con 99,90 % de pureza
- Gas de arrastre (Helio al 99,5 % de pureza).
- Hidrogeno al 99,5 % de pureza.

### **3.2.2 Materiales**

- Artículos de papelería.
- Balones de destilación de 200 mL, 1L y 20 L.

- Beakers de distintas capacidades.
- Buretas de 50 mL de capacidad.
- Erlenmeyer de diferentes capacidades.
- Cápsulas de vidrio marca Pirex de 70 mm de diámetro.
- Cilindros graduados.
- Columna de 1,5 a 3 m con un diámetro externo entre 3 y 6 mm de acero inoxidable.
- Condensador de agua.
- Cromatógrafo de gases.
- Cronómetro.
- Espátulas.
- Embudos de decantación de 5000 mL marca Pirex.
- Embudo de vidrio.
- Guantes de aislamiento térmico.
- Goteros.
- Matraces aforados de diferentes capacidades.
- Medidor de flujo de burbuja de jabón.
- Microjeringa de 1,0 a 10,  $\mu\text{m}$  de capacidad.
- Pinzas.
- Pipetas graduadas y volumétricas de diferentes capacidades.
- Registrador o sistema computarizado.
- Soporte universal.
- Succionador automático de pipetas.
- Vidrio de reloj.
- Termómetros.
- Viales de 5 y 10 ml con tapa de rosca.

### **3.2.3 Sustancias**

- Acetona.

- Acido clorhídrico 0,1N, 0,25 N y 0,5 N.
- Acido acético glacial.
- Acido perclórico al 70 %.
- Agua destilada.
- Alcohol etílico al 95%.
- Cloroformo.
- Disolución acuosa extemporánea de tiosulfato de sodio 0,01N, preparada a partir de tiosulfato de sodio 0,1N (10 ml hasta 100 ml).
- Disolución de dicromato de potasio 0,1 N.
- Disolución etanólica valorada de hidróxido potásico, 0,1 M.
- Disolución jabonosa de lauril sulfato al 5%.
- Disolución metanólica de hidróxido de sodio 0,5 N.
- Disolución saturada de cloruro de sodio.
- Disolución saturada de yoduro de potasio (preparación extemporánea a partir de yoduro de potasio).
- Éter de petróleo.
- Fenolftaleína al 1% en alcohol etílico al 95%.
- Hidróxido de sodio 0,1N 0,25N 0,5 N y al 30%.
- Hexano.
- Metanol.
- Mezcla de éter dietílico y etanol de 95%.
- Potasio hidróxido 0,5 N.
- Trifluoruro de boro al 14 % en metanol.
- Solución indicadora de almidón al 1%.
- Sulfato de sodio Anhídrido.

### 3.3 Tabla de datos

A continuación se muestran una serie de tablas con los datos correspondientes a cada uno de los análisis realizados a los aceites extraídos con los tres diferentes tipos de solventes.

**Tabla 3.1 Valores obtenidos en la aplicación del método Soxhlet para la extracción del aceite con Acetona (Montaje de Laboratorio).**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	Volumen Solvente Inicial (ml)	Volumen Solvente Agregado (ml)	Peso Balones Vacíos (g)	Peso Final Aceite + Balón
1	13,6919	150	100	173,1293	183,1272
2	12,8940	150	100	175,6736	184,4012
3	13,4582	150	100	179,0187	186,1948
4	13,2268	150	100	177,0336	185,2072

**Tabla 3.2 Valores obtenidos en la aplicación del método Soxhlet para la extracción del aceite con Hexano (Montaje de Planta Piloto).**

Peso Muestras (Kg)	Volumen Solvente (Lts)	Peso de la Bandeja Vacía (Kg)	Peso de la Muestra Final (Kg)	Tiempo de Duración (Hrs)
1,00	15,00	4,00	4,15	3,00

**Tabla 3.3 Valores obtenidos en la aplicación del método Soxhlet para la extracción del aceite con Hexano (Montaje de Laboratorio).**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	Volumen Solvente Inicial (ml)	Volumen Solvente Agregado (ml)	Peso Balones Vacíos (g)	Peso Final Aceite + Balón
1	13,3902	140	0	170,4721	179,3144
2	13,4479	150	70	174,6695	184,1548
3	14,1587	125	30	173,0721	184,1742
4	14,0946	150	5	173,1428	182,3661

**Tabla 3.4 Valores obtenidos en la aplicación del método Soxhlet para la extracción del aceite con Éter de Petróleo (Montaje de Laboratorio).**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	Volumen Solvente Inicial (ml)	Volumen Solvente Agregado (ml)	Peso Balones Vacíos (g)	Peso Final Aceite + Balón
1	12,3079	125	100	173,1377	182,3394
2	12,3405	149	40	175,8207	184,0159
3	12,9476	125	40	178,9987	187,7477
4	12,9831	149	100	176,9694	185,9911

**Tabla 3.5 Valores obtenidos para determinar el índice de acidez del aceite extraído con Acetona.**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	V Gastado (ml)
1	5.0490	0,3
2	5.4328	0,3
3	5.3460	0,3
4	5.1056	0,3

**Tabla 3.6** Valores obtenidos para determinar el índice de acidez del aceite extraído con Hexano.

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	V Gastado (ml)
1	5.1663	0,3
2	5.7061	0,4
3	5.3050	0,3
4	5.6085	0,3

**Tabla 3.7** Valores obtenidos para determinar el índice de acidez del aceite extraído con Éter de Petróleo.

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	V Gastado (ml)
1	5.7863	0,3
2	5.4812	0,3
3	5.0382	0,3

4	5.0725	0,3
---	--------	-----

Donde:

V: Volumen de Hidróxido de Sodio (NaOH) gastado en cada titulación de 0,0970 N

**Tabla 3.8 Valores obtenidos para determinar el índice de peróxido del aceite extraído con Acetona.**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	V Gastado (ml)
1	5,0703	0,1
2	5,0475	0,1
3	5,0589	0,1
4	5,0645	0,1

**Tabla 3.9 Valores obtenidos para determinar el índice de peróxido del aceite extraído con Hexano.**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	V Gastado (ml)
1	5,9750	0,1
2	5,0683	0,1
3	5,5217	0,1
4	5,3408	0,1

**Tabla 3.10 Valores obtenidos para determinar el índice de peróxido del aceite extraído con Éter de Petróleo.**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	V Gastado (ml)
1	5,2077	0,1
2	5,1316	0,1
3	5,1502	0,1
4	5,2001	0,1

Donde:

V: volumen de Tiosulfato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) gastado en cada titulación de 0,0100 N.

**Tabla. 3.11 Valores obtenidos en la aplicación del método Soxhlet para la extracción del aceite con Hexano (Montaje de Eficiencia duración 5 Hrs).**

Nº de Corrida	Peso Muestras (g)	Volumen Solvente Inicial (ml)	Volumen Solvente Agregado (ml)	Peso Balones Vacios (g)	Peso Final Aceite + Balón
1	13,2563	100	100	173,9938	185,6648
2	13,5125	100	150	177,8650	185,9158
3	13,2033	100	150	176,1200	188,5010

### 3.4 Muestra de cálculo

### 3.4.1 Porcentaje de Rendimiento

Para obtener el porcentaje de rendimiento de cada uno de los aceites extraídos con los diferentes solventes se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{(muestras - balón)}{semilla} \times 100$$

Donde:

%R: porcentaje de rendimiento.

Muestra: gramos de aceite extraído en el balón.

Balón: peso del balón vacío (g)

Semilla: gramos de semillas molidas.

Sustituyendo los datos de las tablas 3.2, 3.3 y 3.4 se tiene:

$$\%R = \frac{(183,1272 - 173,1293)}{13,6919} \times 100$$

$$\%R = 73,02$$

De la misma forma se obtuvo los resultados para las demás corridas. Estos datos se encuentran reportados en la tabla 3.15.

### 3.4.2 Análisis fisicoquímico de los aceites extraídos

#### 3.4.2.1 Acidez libre e Índice de acidez

La acidez libre se expresa en forma de porcentaje de ácidos grasos libres, en cada muestra para este caso se expresa en forma de ácido láurico, tomando los datos de las tablas 3.5, 3.6 y 3.7 respectivamente y sustituyéndolos en la ecuación 2.1 se tiene:

$$A = \frac{0,200 \times 0,3 \text{ ml NaOH} \times 0,1N}{5,0490g} \times 100$$

$$A = 0,1188 \text{ g de ácido láurico/100 g de aceite}$$

Para obtener el índice de acidez se toman la acidez libre calculada y se sustituye en la ecuación 2.2:

$$Ia = 2,8 \times 0,1188$$

$$Ia = 0,3326 \text{ g de ácido láurico/100 g de aceite}$$

El mismo procedimiento se aplica para los demás ensayos del aceite de coroba, estos resultados están reflejados en la tabla 4.1 en forma de promedios.

#### 3.4.2.2 Índice de peróxido

El índice de peróxido se obtiene tomando los datos de la tabla de datos 3.8, 3.9 y 3.10 respectivamente y sustituyéndolos en la ecuación 2.3:

$$IPO = \frac{0,1 \times (0,1 - 0)}{5,0703} \times 1000$$

$$IPO = 1,9723 \text{ meq O}_2/\text{Kg de aceite}$$

De igual forma se obtienen el índice de peróxido para los demás ensayos del aceite de coroba, estos resultados en promedios fueron reportados en la tabla de resultados 4.1.

#### 3.4.3 Porcentaje de eficiencia del método Soxhlet

Para obtener el porcentaje de eficiencia de método soxhlet se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% E = \frac{(muestras - balón)}{semilla} \times 100$$

Donde:

%E: porcentaje de eficiencia.

Muestra: gramos de aceite extraído en el balón.

Balón: peso del balón vacío (g)

Semilla: gramos de semillas molidas.

Sustituyendo los datos de la tabla 3.11 se tiene:

$$\%E = \frac{(185,6648 - 173,9938)}{13,2563} \times 100$$

$$\%E = 88,04$$

De la misma forma se obtienen los demás porcentaje de eficiencia calculándose un promedio para las tres corridas de la siguiente forma:

$$\%E = \frac{(\%E1 + \%E2 + \%E3)}{3}$$

Sustituyendo los datos obtenidos se tiene:

$$\%E = \frac{(88,04 + 59,58 + 93,77)}{3}$$

$$\%E = 80,46$$

Este resultado se encuentra reportado en la tabla 4.2.

### 3.4.4 Cálculos estadísticos

#### 3.4.3.1 Análisis del ANOVA para el índice de acidez

Los valores del índice de acidez determinados a cada muestra de aceite y sometidos a ANOVA se presentan en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.12 Datos para ANOVA valores del índice de acidez.**

Nº de Corrida	Aceite		
	extraído con acetona	extraído con éter de petróleo	extraído con hexano
1	0,3228	0,2816	0,3154
2	0,3000	0,2973	0,3807
3	0,3048	0,3234	0,3072
4	0,3192	0,3213	0,2906
$\sum X_i$	1,2468	1,2336	1,2939
<b>Promedio</b>	0,3117	0,3059	0,3235

$T_{...} = 1,2468 + 1,2336 + 1,2939 = 3,7643$  suma de todas las  $\sum X_i$

$k = 3$  (Total de tratamientos)

$n = 4$  (Número de repeticiones por cada tratamiento)

$N = 12$  (Total de resultados obtenidos)

Hipótesis planteadas:

Hipótesis nula ( $H_0$ ):  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  (No hay diferencia entre tratamientos)

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$  (Al menos uno de los tratamientos es diferente)

Nivel de significancia estadística: 95 % ( $\alpha = 0,05$ )

Suma de cuadrados total (SCT):

$$SCT = \sum X_{ij}^2 - T^2_{...}/N$$

$$SCT = (0,3228^2 + 0,3000^2 + 0,3048^2 + 0,3192^2 + 0,2816^2 + 0,2973^2 + 0,3234^2 + 0,3213^2 + 0,3154^2 + 0,3807^2 + 0,3072^2 + 0,2906^2) - (3,7643^2/12)$$

$$\mathbf{SCT = 0,006899}$$

Suma de cuadrados de tratamiento:

$$SC_{\text{trat}} = \sum \sum X_i^2 / n - T^2 \dots / N$$

$$SC_{\text{trat}} = (1,2468^2/4 + 1,2236^2/4 + 1,2939^2/4 - (3,7643^2/12))$$

$$\mathbf{SC_{\text{trat}} = 0,000642}$$

Suma de cuadrados de error (de residuos):

$$SC_E = SCT - SC_{\text{trat}}$$

$$SC_E = 0,006899 - 0,000642$$

$$\mathbf{SC_E = 0,006257}$$

Cuadrados medios:

a) Cuadrado medio de tratamiento ( $CM_{\text{trat}}$ )

$$CM_{\text{trat}} = SC_{\text{trat}} / (k-1) = 0,000642 / 2$$

$$\mathbf{CM_{\text{trat}} = 0,000321}$$

b) Cuadrado medio del error ( $CM_E$ )

$$CM_E = SC_E / (N - k) = SC_E / k(n-1) = 0,006257 / 9$$

$$\mathbf{CM_E = 0,000695}$$

**Cálculo de la razón F ( $F_{\text{cal}}$ ):**

$$F_{\text{cal}} = CM_{\text{trat}} / CM_E = 0,000321 / 0,000695$$

$$\mathbf{F_{\text{cal}} = 0,46}$$

**Valor crítico de F ( $F_{tab}$ ):**

Este valor se obtiene de la Tabla “Puntos porcentuales de la distribución F” [35], para una significancia  $\alpha = 0,05$ ; grados de libertad para el numerador (tratamiento,  $3 - 1 = 2$ ) y grados de libertad para el denominador (error,  $12 - 4 = 8$ ). Según esas indicaciones, en la tabla señalada se obtiene el valor:

$$F_{tab} = F_{0,05; 2/8} = 4,46$$

**Conclusión:**

Se compara los valores  $F_{cal}$  y  $F_{tab}$ , de tal manera que si  $F_{cal} < F_{tab}$  se acepta la hipótesis  $H_0$  (no hay diferencias entre tratamientos), caso contrario se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ . En este caso se tiene:

$$F_{cal} = 0,46$$

$$F_{tab} = 4,46$$

$F_{cal} < F_{tab}$  Entonces no hay diferencias entre tratamientos (es decir, la extracción del aceite de semilla de coroba con los tres diferentes solventes extractores aporta aceites con contenidos de ácidos grasos totales estadísticamente semejantes entre ellos).

**Tabla 3.13 Resumen del ANOVA para el contenido de ácidos grasos**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_{cal}$	$F_{tab}$
<b>Tratamiento</b>	0,000642	2	0,000321		
<b>Error</b>	0,006257	8	0,000695	0,46	4,46

(residuo)					
<b>Total</b>	0,006899	10			

### 3.4.3.2 Análisis del ANOVA para el índice de peróxido

Los valores del índice de peróxido determinados a cada muestra de aceite y sometidos a ANOVA se presentan en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.14 Datos para ANOVA del índice de peróxido.**

Nº de Corrida	Aceite extraído con acetona	Aceite extraído con éter de petróleo	Aceite extraído con hexano
1	1,9723	1,7282	1,6736
2	1,7831	1,9487	1,9730
3	1,9767	1,9417	1,8110
4	1,7771	1,7307	1,8724
$\sum X_i$	7,5091	7,3493	7,3301
<b>Promedio</b>	1,8773	1,8373	1,8325

$$T_{...} = 7,5091 + 7,3493 + 7,3301 = 22,1886$$

$$k = 3 \text{ (Total de tratamientos)}$$

$$n = 4 \text{ (Número de repeticiones por cada tratamiento)}$$

$$N = 12 \text{ (Total de resultados obtenidos)}$$

#### Hipótesis planteadas:

Hipótesis nula ( $H_0$ ):  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  (No hay diferencia entre tratamientos)

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$  (Al menos uno de los tratamientos es diferente).

Nivel de significancia estadística: 95 % ( $\alpha = 0,05$ )

Suma de cuadrados total (SCT):

$$SCT = \sum X_{ij}^2 - T^2 \dots / N$$

$$SCT = (1,9723^2 + 1,7831^2 + 1,9767^2 + 1,7771^2 + 1,7282^2 + 1,9487^2 + 1,9417^2 + 1,7307^2 + 1,6736^2 + 1,9730^2 + 1,8110^2 + 1,8724^2) - (22,1886^2/12)$$

$$\mathbf{SCT = 0,136261}$$

Suma de cuadrados de tratamiento:

$$SC_{\text{trat}} = \sum \sum X_i^2 / n - T^2 \dots / N$$

$$SC_{\text{trat}} = (7,5091^2/4 + 7,3493^2/4 + 7,3301^2/4) - (22,1886^2/12)$$

$$\mathbf{SC_{\text{trat}} = 0,004829}$$

Suma de cuadrados de error (de residuos):

$$SC_E = SCT - SC_{\text{trat}}$$

$$SC_E = 0,136261 - 0,004829$$

$$\mathbf{SC_E = 0,131432}$$

**Cuadrados medios:**

c) Cuadrado medio de tratamiento ( $CM_{\text{trat}}$ )

$$CM_{\text{trat}} = SC_{\text{trat}} / (k-1) = 0,004829 / 2$$

$$\mathbf{CM_{\text{trat}} = 0,002415}$$

d) Cuadrado medio del error ( $CM_E$ )

$$CM_E = SC_E / (N - k) = SC_E / k(n-1) = 0,131432 / 9$$

$$\mathbf{CM_E = 0,014604}$$

- **Cálculo de la razón F ( $F_{\text{cal}}$ ):**

$$F_{\text{cal}} = \text{CM}_{\text{trat}} / \text{CM}_E = 0,002415 / 0,014604$$

$$F_{\text{cal}} = \mathbf{0,17}$$

#### Valor crítico de F ( $F_{\text{tab}}$ ):

Este valor se obtiene de la tabla “puntos porcentuales de la distribución F” [36], para una significancia  $\alpha = 0,05$ ; grados de libertad para el numerador (tratamiento,  $3 - 1 = 2$ ) y grados de libertad para el denominador (error,  $12 - 4 = 8$ ). Según esas indicaciones, en la tabla señalada se obtiene el valor:

$$F_{\text{tab}} = F_{0,05; 2/8} = \mathbf{4,46}$$

#### Conclusión:

Se compara los valores  $F_{\text{cal}}$  y  $F_{\text{tab}}$ , de tal manera que si  $F_{\text{cal}} < F_{\text{tab}}$  se acepta la hipótesis  $H_0$  (no hay diferencias entre tratamientos), caso contrario se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ . En este caso se tiene:

$$F_{\text{cal}} = \mathbf{0,17}$$

$$F_{\text{tab}} = \mathbf{4,07}$$

$F_{\text{cal}} < F_{\text{tab}}$  Entonces no hay diferencias entre tratamientos (es decir, los aceites extraídos poseen un contenido de álcali libre estadísticamente iguales).

**Tabla 3.15 Resumen del ANOVA para el índice de peróxido.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_{cal}$	$F_{tab}$
<b>Tratamiento</b>	0,004829	2	0,002415		
<b>Error (residuo)</b>	0,131432	8	0,014604	0,17	4,46
<b>Total</b>	0,136261	10			

### 3.4.3.3 Análisis ANOVA para el rendimiento de los aceites extraído

Los valores del porcentaje de rendimiento determinados a cada muestra de aceite y sometidos a ANOVA se presentan en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.16 Datos para ANOVA del porcentaje de rendimiento.**

Nº de Corrida	Aceite extraído con acetona	Aceite extraído con éter de petróleo	Aceite extraído con hexano
1	73,02	66,04	74,76
2	67,69	70,53	66,41
3	53,32	78,41	67,57
4	61,80	65,44	69,49
$\sum X_i$	255,83	280,42	278,24
<b>Promedio</b>	63,96	70,11	69,56

$$T_{...} = 255,83 + 278,24 + 280,42 = 814,49$$

$$k = 3 \text{ (Total de tratamientos)}$$

$$n = 4 \text{ (Número de repeticiones por cada tratamiento)}$$

**N = 12** (Total de resultados obtenidos)

Hipótesis planteadas:

Hipótesis nula ( $H_0$ ):  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  (No hay diferencia entre tratamientos)

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$  (Al menos uno de los tratamientos es diferente)

Nivel de significancia estadística: 95 % ( $\alpha = 0,05$ )

Suma de cuadrados total (SCT):

$$SCT = \sum X_{ij}^2 - T^2 \dots / N$$

$$SCT = (73,02^2 + 74,76^2 + 66,04^2 + 67,69^2 + 66,41^2 + 70,53^2 + 53,32^2 + 67,57^2 + 78,41^2 + 61,80^2 + 69,49^2 + 65,44^2) - (814,49^2/12)$$

$$\mathbf{SCT = 453,89}$$

Suma de cuadrados de tratamiento:

$$SC_{\text{trat}} = \sum \sum X_i^2 / n - T^2 \dots / N$$

$$SC_{\text{trat}} = (255,83^2/3 + 278,24^2/3 + 280,72^2/3) - (814,49^2/12)$$

$$\mathbf{SC_{\text{trat}} = 92,63}$$

Suma de cuadrados de error (de residuos):

$$SC_E = SCT - SC_{\text{trat}}$$

$$SC_E = 453,89 - 92,63$$

$$\mathbf{SC_E = 361,26}$$

**Cuadrados medios:**

e) Cuadrado medio de tratamiento ( $CM_{\text{trat}}$ )

$$CM_{\text{trat}} = SC_{\text{trat}} / (k-1) = 92,63 / 2$$

$$\mathbf{CM_{trat} = 40,14}$$

f) Cuadrado medio del error ( $CM_E$ )

$$CM_E = SC_E / (N - k) = SC_E / k(n-1) = 361,26 / 9$$

$$\mathbf{CM_E = 40,14}$$

**Cálculo de la razón F ( $F_{cal}$ ):**

$$F_{cal} = CM_{trat} / CM_E = 46,32 / 40,14$$

$$\mathbf{F_{cal} = 1,15}$$

**Valor crítico de F ( $F_{tab}$ ):**

Este valor se obtiene de la tabla “puntos porcentuales de la distribución F”, para una significancia  $\alpha = 0,05$ ; grados de libertad para el numerador (tratamiento,  $4 - 1 = 3$ ) y grados de libertad para el denominador (error,  $12 - 4 = 8$ ). Según esas indicaciones, en la tabla señalada se obtiene el valor:

$$\mathbf{F_{tab} = F_{0,05; 3/8} = 4,46}$$

- **Conclusión:**

Se compara los valores  $F_{cal}$  y  $F_{tab}$ , de tal manera que si  $F_{cal} < F_{tab}$  se acepta la hipótesis  $H_0$  (no hay diferencias entre tratamientos), caso contrario se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ . En este caso se tiene:

$$\mathbf{F_{cal} = 1,15}$$

$$\mathbf{F_{tab} = 4,46}$$

$F_{cal} < F_{tab}$  Entonces no hay diferencias entre tratamientos (es decir, en los aceites extraídos poseen porcentajes de rendimiento estadísticamente semejantes).

**Tabla 3.17 Resumen del ANOVA para el porcentaje de rendimiento.**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_{cal}$	$F_{tab}$
<b>Tratamiento</b>	92,63	2	46,32		
<b>Error (residuo)</b>	361,26	8	40,14	1,15	4,46
<b>Total</b>	453,89	10			

## CAPITULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Análisis de resultados

##### 4.1.1 Porcentaje de Rendimiento en la obtención del aceite y Eficiencia del Método Soxhlet.

Entre los requisitos que deben cumplir un solvente para que ocurra la debida extracción de un aceite se encuentra:

- Capacidad de romper los enlaces con el resto de los compuestos, liberar los lípidos y solubilizarlos
- Polaridad similar a la del analito
- Triglicéridos solubles en disolventes apolares (**Bernardini, 1981**).

El uso del éter de petróleo se recomienda por ser un solvente no polar, por lo tanto selectivo al extraer lípidos no polares como los triglicéridos, los cuales son lípidos utilizados en la producción de biodiesel, el inconveniente que este presenta es su alta volatilidad, lo que conlleva a una significativa pérdida de solvente en el proceso de extracción, igual condición es presentada por la acetona, la misma es el solvente selectivo para extraer gossipol, principio tóxico que contiene la semilla de algodón. El hexano ha sido evaluado como un solvente de extracción con resultados interesantes, es relativamente económico, fácil de recuperar después de la extracción y posee solubilidad hacia los lípidos neutros (**Mehlenbacher, 1970**).

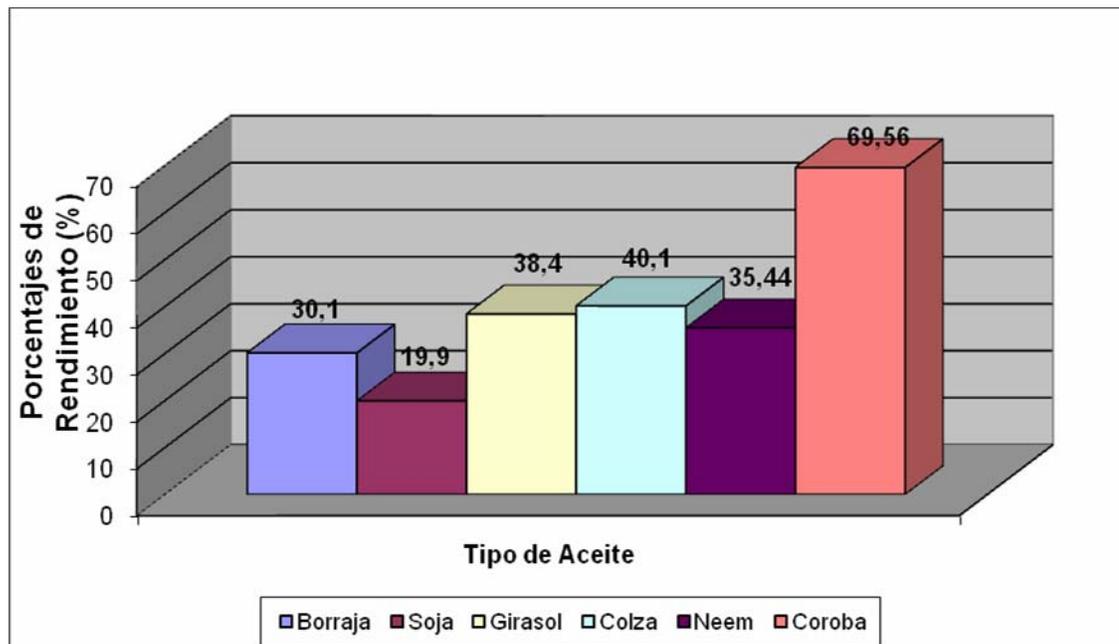
En la tabla 4.1 se indica el porcentaje de rendimiento promedio calculado para el aceite extraído con cada uno de los solventes, en donde predomina el éter de petróleo con mayor cantidad de aceite extraído, seguidamente el hexano, siendo el de menor rendimiento la acetona, la misma por ser altamente volátil presenta mayor pérdida en el proceso de calentamiento del método Soxhlet, estos resultados permiten inferir que el éter de petróleo posee relativamente

mayor selectividad hacia los lípidos presente en la semilla de coroba, sin embargo los resultados obtenidos no se detectó la existencia de diferencias significativas entre cada valor de rendimiento calculado para el volumen de aceite extraído de la semilla de coroba, con los tres diferentes solventes utilizados.

En la figura 4.1 se representan los valores del porcentaje de rendimiento obtenidos en el proceso de extracción del método Soxhlet, con el uso de hexano como solvente extractor, haciendo una comparación con el rendimiento determinado al aceite de semilla de coroba, se aprecia claramente la diferencia del porcentaje obtenido para el aceite de semilla de coroba sobre los demás aceites la misma tiene un contenido de 31,9 % de aceite, con una composición de 65,53% de ácidos grasos insaturados principalmente y 34,4% de ácidos grasos saturados (**Salazar, Belén, Jiménez, Pino, 2004**). Por otra parte el método Soxhlet presentó un porcentaje de eficiencia de 80,46 siendo este un valor altamente aceptable en la obtención de aceites a partir de semillas.

**Tabla 4.1 Rendimiento promedio en la obtención de aceite de semilla de coroba con el uso de diferentes solventes.**

Rendimiento (%)	Aceite extraído con acetona	Aceite extraído con éter de petróleo	Aceite extraído con hexano
<b>Promedio</b>	63,96±1,36	70,11±1,57	69,56±078



**Figura 4.1** Porcentaje de rendimiento en la extracción de varios aceites de semillas con el uso de Hexano (Stahl, Schutz y Mangold 1980).

#### 4.1.2 Características fisicoquímicas de los aceites extraídos

En la tabla 4.2 se presentan los resultados de los análisis químicos realizados al aceite de la semilla de la Coroba, extraído con los tres solventes acetona, hexano y éter de petróleo. A este aceite se le realizaron una serie de pruebas químicas para determinar la cantidad de ácidos grasos libres, el grado de rancidez oxidativa y el grado de insaturaciones o enlaces múltiples en sus cadenas carbonadas. La determinación de estas características es de suma importancia para seleccionar un aceite con propiedades para aplicaciones en la industria aceitera.

#### 4.1.2.1 Índice de acidez

Los índices de acidez calculados para el aceite extraído con los tres solventes diferentes, son estadísticamente semejantes, siendo ligeramente superior este parámetro en el aceite extraído con el hexano. Los resultados arrojados indican características similares a un aceite refinado, ya que los aceites sin refinar poseen un índice de acidez menor a 0,28 (como ácido oleico), por otra parte el índice de acidez se encuentra dentro de los límites señalados por la norma venezolana COVENIN 30:1997 para aceites vegetales comestibles. Esta característica permite inferir que el aceite es de buena calidad química y que las condiciones de extracción fueron adecuadas, al no permitir el desarrollo de reacciones que produjeran el deterioro oxidativo del aceite.

Al comparar este parámetro con otros aceites como el de coco y palmiste el valor determinado para el aceite de coroba se encuentra por encima del aceite de coco y por debajo del aceite de palma, estos dos aceites constituyen la fuente principal de la industria jabonera, lo cual permite decir que el aceite de semilla de coroba posee cualidades idóneas para ser utilizado en esta industria. Además este valor se encuentra por debajo del límite máximo establecido en las Normas ASTM que debe poseer un aceite vegetal para ser utilizado como biodiesel, otro proceso en el cual este aceite puede ser utilizado como materia prima. Es importante hacer notar que el valor de la acidez indica la presencia de una concentración de ácidos grasos libres por lo tanto se recomienda aplicar una neutralización suave como medio de refinación (Ziller, 1996).

#### 4.1.2.2 Índice de peróxido

Los índices de peróxido obtenidos para el aceite extraído con la acetona, hexano y éter son estadísticamente semejantes, encontrándose dentro de un rango aceptable, ya que las normas venezolanas COVENIN 30:1997 para aceites vegetales comestibles exigen un nivel de peróxido inferior a 2 meq O<sub>2</sub>/Kg en planta y 5 meq O<sub>2</sub>/Kg en mercado para aceites comestibles, comprobándose con este resultado que el aceite de la semilla de coroba se encuentra por debajo de

los niveles de rancidez oxidativa, lo cual es beneficioso para el procesamiento de este aceite, ya que se puede almacenar por largo tiempo sin presentarse problemas de envejecimiento, debido a cambios químicos en las características organolépticas motivadas a reacciones de oxidación que están asociada a la presencia de ácidos grasos insaturados.

#### 4.1.2.3 Índice de yodo

Los índices de yodo calculados son estadísticamente semejantes para el aceite de semilla de Coroba extraído con los tres solventes, estos valores indican que el aceite presenta fundamentalmente enlaces saturados. Esto evita que el ester derivado del aceite durante el almacenamiento o en calentamientos, sufra una transformación de los mismos en otros productos que puedan presentar dificultades en las diferentes aplicaciones de la industria aceitera.

Este valor se encuentra muy por debajo del límite máximo establecido en las Normas ASTM para los aceites vegetales usados como biosiesel. Comparando estos valores con otras semillas de palmas se tiene que aceite de coroba es muy similar al de la palma pero muy alto con respecto al del coco, tucuma y yagua, esto señala que estas últimas palmeras cuentan con aceites más saturados (**Ranquen, 1993**). En la tabla 4.2 se presenta los resultados de las características fisicoquímicas determinadas al aceite de semilla de coroba extraído con los tres solventes, acetona, hexano y éter de petróleo.

**Tabla 4.2 Características fisicoquímicas del aceite de semilla de coroba extraído con los diferentes solventes**

Análisis	Aceite extraído con acetona	Aceite extraído con éter de petróleo	Aceite extraído con hexano
----------	-----------------------------	--------------------------------------	----------------------------

<b>Índice de acidez</b>	0,3117±0,2	0,3059±0,2	0,3235±0,2
<b>Índice de peróxido</b>	1,8773±0,0006	1,8373±0,0006	1,8325±0,0006
<b>Índice de yodo</b>	18,5300±0,7	19,3400±0,7	20,3300±0,7

Tomado los resultados obtenidos con el aceite de semilla de coroba y comparándolos con los resultados de la caracterización fisicoquímica del aceite de varias semillas como la nuez de Aguirre (*Couepia dolichopoda* Prance), en la cual el árbol y frutos tienen características similares a la coroba, la almendras de la nuez de Aguirre tiene alto contenido de un aceite comestible muy fino de color amarillo verdoso claro, muy susceptible a la oxidación, tiene un excelente sabor y un suave olor, un alto contenido de proteínas y es potencialmente útil en la dieta humana.

La almendra que se encuentra dentro del fruto del árbol el marañón (*Anacardium occidentale* L), árbol silvestre que pertenece a la familia Anacardiaceae, originario de las zonas tropicales de América y del noroeste brasileño que presenta excelentes propiedades medicinales y nutricionales el aceite de la almendra es de color amarillo brillante y menos viscoso que el aceite del pericarpio.

En cuanto al rendimiento del aceite de la semilla de nuez de Aguirre, para los solventes éter de petróleo y hexano presentan valores menores (35,57 y 49,40 % respectivamente), que además son significativamente diferentes con respecto a la cantidad de aceite obtenido con acetona (75 %). Esto se debe a que la extracción depende de la afinidad del solvente con la sustancia deseada, situación que difiere con el aceite extraído de la semilla de coroba, aun cuando los tres valores de rendimiento son estadísticamente semejantes se presento mayor afinidad con el éter de petróleo.

En el caso de la almendra del marañón el rendimiento usando hexano como solvente, fue de 77,88 %. Esto tal vez se debe a que el hexano al no poseer

grupos funcionales en su estructura química (como ocurre con el éter y el ester) facilite la liberación y recuperación del aceite durante el proceso. Vale la pena destacar que el aceite obtenido con hexano presenta un color amarillo transparente y brillante, e inodoro; mientras que el rendimiento y las características del obtenido con el éter de petróleo fue del 60,49%, con un color amarillo opaco y un olor muy desagradable, lo cual tal vez se debe a su menor recuperación respecto al método anterior **(Lafont 2011)**.

No se presentan diferencias significativas entre los tratamientos en la determinación de índice de yodo para la nuez de Aguirre, los resultados arrojan valores altos semejantes a los índices de yodo del aceite de oliva y maní, mientras que el aceite de semilla de coroba presenta valores bajos apropiados para ser usado como biodiesel. De acuerdo al índice de yodo, los aceites en general se pueden clasificar en: secantes con valores entre 140 y 210 cg l/g, semisecantes entre 100 y 140 cg l/g y no secantes por debajo de 100 cg l/g; dependiendo de esta clasificación, el aceite puede tener diferentes usos en la industria; el índice de yodo presentado por el aceite de la almendra de marañón fue de 85,1 cg l/g encontrándose en el rango de los no secantes al igual que el aceite de semilla de coroba, razón por el cual estos aceites puede ser utilizado en la elaboración de cremas y jabones líquidos. Situación similar se presenta con los valores del índice de acidez de la nuez de Aguirre, los cuales son estadísticamente similares siendo relativamente mayor para el éter de petróleo, lo que difiere del aceite extraído de la semilla de coroba, en donde se presentó mayor índice de acidez en el aceite extraído con hexano. El aceite extraído de la almendra del Marañón con hexano presento un índice de acidez de 1,6 mgKOH/g, el origen de este valor se asocia probablemente al hecho de que la humedad en el aceite produce una reacción de hidrólisis de los triglicéridos formando ácidos grasos libres **(Sánchez y Barrera, 2001)**.

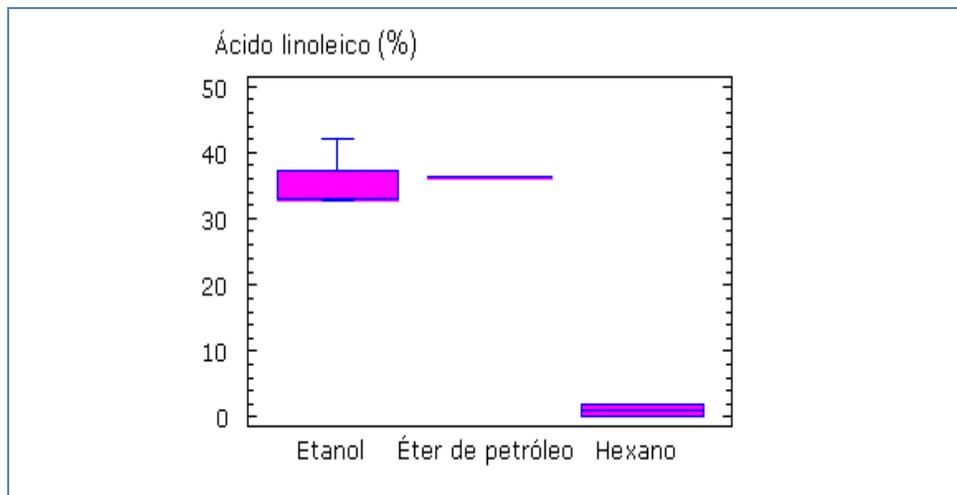
El índice de peróxido mide la oxidación del aceite fresco o el grado de rancidez en el momento de la prueba; se considera que los productos con índice superior a 2 meq de O<sub>2</sub>/Kg son altamente propensos a mostrar rancidez (Belén

et al 2005). El índice de peróxido del aceite de la almendra del marañón extraído con hexano fue de 1.3989 meq de  $O_2/Kg$ , este valor está por debajo del límite máximo permitido, al igual que los índices de yodo del aceite de semilla de Coroba, cuyos resultados fueron estadísticamente semejantes para los tres solventes utilizados, indicando que son bastante estables a los procesos oxidativos, se puede decir que para la industria alimenticia ambos aceites cumplen con las normas CODEX y ANDI las cuales consideran para los aceites vírgenes valores máximos de  $15meqO_2/Kg$ , y  $5meqO_2/Kg$  respectivamente **(Lafont 2011)**.

Comparando los resultados obtenidos del aceite de semilla de coroba con datos bibliográficos publicados de otra palma, como lo es el aceite del fruto del Poraqueiba serícea T (umari) extraído por el método Soxhlet usando hexano como solvente extractor, se tiene un valor de índice de peróxido de 2 meq/kg similar al aceite de semilla de coroba, lo cual indica un bajo porcentaje en cuanto al contenido de productos primarios y secundarios de oxidación, un índice de poroxido de hasta 5 corresponde a un aceite fresco, dentro de un periodo de inducción, iniciándose la rancidez organoléptica con un índice de peróxido de 10 y 20 meq/Kg. **(Chavez, Maury, 2002)**

Para el índice de acidez el aceite de umarí presenta un valor de 1,9 expresado como acido oleico valor mayor al presentado por el aceite de coroba, lo cual lo ubica fuera de los parámetros establecidos por la Normas COVENIN Venezolanas para aceites comestibles. En cuanto a la composición de los ácidos grasos de la semilla de umarí, el acido graso predominante es el acido oleico en un 70,3% distinto al aceite de semilla de coroba cuyo acido graso predomínate es el làurico, el acido graso saturado presenta en el aceite de umarí es el acido palmítico en un 29,2%, se destaca la presencia de los ácidos linolènicos, Ionoleicos y araquidico, considerados especialmente los dos primeros como ácidos grasos esenciales, los cuales según la experiencia con ratas de laboratorio indica que estos ácidos grasos, especialmente el linoleico y sus derivados desempeñan un papel específico en el desarrollo y la función del

cerebro y de la retina. Se ha demostrado que el ácido linoleico en la dieta evita lesiones cutáneas en los monos; cabe destacar que estos ácidos no fueron detectados en el aceite de semilla de coroba (**Abbott, 1970**).



**Figura 4.2** Contenido de Acido Linoleico en las extracciones con los diferentes solventes para el aceite extraído de la semilla de C.pepo

**Tabla 4.3** Características fisicoquímicas del aceite de la nuez de Aguirre con los diferentes solventes

Análisis	Aceite extraído con acetona	Aceite extraído con éter de petróleo	Aceite extraído con hexano
Índice de acidez	6,085	6,085	6,24
Rendimiento	75,00	35,57	49,40
Índice de yodo	78,94	83,74	79,26

#### 4.1.3 Perfil de ácidos grasos de aceite de semilla de Coroba

Al aceite extraído con los tres solventes, acetona, hexano y éter de petróleo se le determinó el perfil de ácidos grasos, debido a que los resultados obtenidos se aproximan en cada caso, siendo ligeramente predominante la acetona en el arrastre del ácido láurico con 42,2 %, frente al hexano y el éter de petróleo, siendo esto de gran importancia debido a que cuando el ácido láurico es ingerido, se transforma para monolaurin. **(Hoffman, Han, Dawson, 2001)**.

Este es un compuesto antiviral y antibacteriano utilizado por el cuerpo humano para combatir los microbios recubiertos de lípidos, el ácido láurico es también beneficioso en la mitigación de infecciones de la piel, el eccema y la psoriasis, y se dice que protege contra el resfriado común y los virus de la gripe. Este y otros ácidos grasos de cadena media no circulan en el torrente sanguíneo del cuerpo, y hay cierta evidencia que sugiere que pueden aumentar el metabolismo. Además de que los jabones elaborados con ácido láurico producen grandes cantidades de espuma y poseen la propiedad de disolver la grasa y el aceite rápidamente. **(Denke, Grundy, 1992)**.

El hexano y éter de petróleo arrastran ligeramente mayor proporción de ácidos grasos saturados, siendo dominante el hexano sobre el éter de petróleo, lo cual tiene un efecto negativo en el aceite al momento de ser usado en la industria de alimentos, motivado a que los ácidos grasos saturados a ser consumidos producen un incremento en las concentraciones de colesterol total y del LDL, debido a una disminución en la presencia de receptores de LDL en la superficie celular. Los efectos de los ácidos grasos saturados no sólo se circunscriben al metabolismo lipídico, sino que también ejercen una actividad protrombótica (formación de coágulos en las venas y arterias) y alteran la función endotelial (control en la dilatación y contracción de los vasos sanguíneos).

El hexano en particular arrastra mayor proporción del ácido mirístico (C14:0), el cual es considerado como el ácido graso saturado con mayor poder aterogénico (riesgo de enfermedades cardiovasculares) y trombogénico,

teniendo de 4 a 6 mayor efecto hipercolesterolemiantes que el palmítico (**Mensink, 1993**). Como aspecto positivo se tiene que tanto el hexano y el éter de petróleo arrastran mayor cantidad de ácidos grasos monoinsaturados en especial el ácido oleico C18:1 el consumo de los monoinsaturados disminuye de forma significativa las concentraciones de cLDL en torno al 10-14% y las de cHDL un 2-6%. Se ha observado que poseen una capacidad de resistencia a la oxidación de las partículas de LDL y además se ha demostrado que también protegen contra la trombogénesis (**Mata, Álvarez, Rubio, Nuño y De Oya, 1992**).

Es importante señalar que el aceite de semilla de coroba en su composición de ácidos grasos saturados se encuentra el ácido caprílico el mismo se usa como antibiótico de variados patógenos de la leche bronca. Entre las especies de bacterias que se pueden eliminar usando ácido caprílico están: *Streptomyces. agalactiae*, *S. dysgalactiae*, *S. uberis*, *Staph. aureus*, y *E. Coli*.

En el estudio realizado por el departamento de Química Tecnológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. [**Romero, Vargas, 2005**], se determinó el perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla de Neem (*Azadirachta indica*), extraído mediante el método Soxhlet con el uso de hexano y éter de petróleo como solventes extractores, obteniéndose una composición de ácidos grasos totales semejantes, entre los aceites extraídos.

**Tabla 4.4 Resultados de la cromatografía de gases realizada al aceite de semilla de coroba extraído con los diferentes solventes.**

Ácidos Grasos	Disolvente usado		
	Acetona	Hexano	Éter de Petróleo
<b>C 8:0</b>	4,7 ±0,1%	5,1 ±0,1%	5,2 ±0,1%
<b>C 10:0</b>	5,2 ±0,1%	5,6 ±0,1%	5,7 ±0,1%
<b>C 12:0</b>	42,2 ±0,1%	35,8 ±0,1%	36,6 ±0,1%
<b>C 14:0</b>	15,4 ±0,1%	17,5 ±0,1%	16,8 ±0,1%

<b>C 16:0</b>	9,4 ±0,1%	10,6 ±0,1%	10,2 ±0,1%
<b>C 16:1</b>	0,1 ±0,1%	0 ±0,1%	0 ±0,1%
<b>C 18:0</b>	4,2 ±0,1%	4,8 ±0,1%	4,7 ±0,1%
<b>C 18:1</b>	16 ±0,1%	17,6 ±0,1%	17,6 ±0,1%
<b>C 18:2</b>	2,7 ±0,1%	2,9 ±0,1%	3 ±0,1%
<b>C 18:3</b>	0 ±0,1%	0 ±0,1%	0 ±0,1%
<b>C 20:0</b>	0,1 ±0,1%	0,1 ±0,1%	0,2 ±0,1%
<b>C 20:1</b>	0,1 ±0,1%	0,1 ±0,1%	0,1 ±0,1%
<b>C 22:0</b>	0 ±0,1%	0 ±0,1%	0 ±0,1%
<b>C 22:1</b>	0 ±0,1%	0 ±0,1%	0 ±0,1%
<b>C 24:0</b>	0 ±0,1%	0 ±0,1%	0 ±0,1%
<b>C 18:1 OH</b>	0	0 %	0 %
<b>C 18:0 OH</b>	0	0 %	0 %

Aproximadamente entre el 51 y 59 por ciento de los ácidos grasos son insaturados y 34 a 46 por ciento son saturados. El 70 por ciento de los ácidos grasos corresponden a cadenas de 18 carbonos; el 16 por ciento de los ácidos grasos corresponden a cadenas de 16 carbonos. Teniendo mayor cantidad de arrastre de ácidos grasos de cadenas medianamente largas C14, C16 el hexano. El mismo fenómeno se pudo observar con el aceite extraído de la semilla de coroba, en donde el hexano tiene relativamente mayor afinidad con los ácidos grasos de cadenas medianamente largas presentes en el mismo. Observando los resultados del análisis de ácidos grasos del aceite de la almendra del Maraón extraído con Hexano, se obtuvo un 81,36% de ácidos grasos insaturados, formado por el 61,36% del ácido oleico (monoinsaturado), el 19,48% del ácido linoleico y el 0,52% del ácido linolénico (poliinsaturados).

El 18,64% de ácidos grasos obtenidos fueron saturados formado por ácido palmítico con 10,43% y el ácido esteárico con 8,21% (**Lafont 2011**). Es conocido que el aceite extraído de semillas de Cucurbita pepo (Calabaza) es rico en ácidos grasos insaturados, destacándose el linoleico (43-56 %) y el oleico (24-38 %). Además, contiene tocoferoles beta y gamma (vitamina E) y carotenoides: luteolina y beta-caroteno.

Estudiando la extracción con etanol, éter de petróleo 60 a 80 °C y hexano del aceite de la semillas de C. pepo, este mostró diferencia significativa en el contenido de lípidos extraídos con etanol y éter de petróleo, pero no entre el hexano y los otros 2 solventes empleados. Si se observa el contenido de ácido linoleico en las extracciones realizadas con los diferentes solventes estudiados, se puede notar que no existió diferencia significativa en el contenido de este ácido (mayoritario en el extracto lipídico de semillas de C. pepo), en los extractos etanólico y etéreo, pero sí entre estos anteriores y el obtenido con hexano, donde resultó en este último muy bajo, por lo que se recomienda no emplear hexano como solvente por no extraer los componentes de interés.

Sobre la base de este criterio se pudieran emplear etanol o éter de petróleo indistintamente, pero si se tiene en cuenta de nuevo su volatilidad y costo, es preferible elegir el etanol por ser menos volátil y poderse recuperar, además del bajo costo, porque el éter de petróleo por causa de su elevada volatilidad puede recuperarse de manera escasa. (**Hernandez, Condell, Izquierdo, Sanabia, 2008**).

**Tabla 4.5 Perfil de ácidos grasos de la semilla de Neem (Romero, Vargas, 2005).**

Ácido Graso	Solvente		Ácido Graso	Solvente	
	Hexano	Éter de Petróleo		Hexano	Éter de Petróleo
<b>C14:0</b>	0,12	0,04	<b>C18:2</b>	14,02	14,16

<b>C14:1</b>	0,08	0,04	<b>C18:3</b>	0,39	0,45
<b>C15:0</b>	1,45	1,27	<b>C19:0</b>	0,08	0,14
<b>C16:0</b>	19,70	17,94	<b>C20:0</b>	1,50	1,51
<b>C16:1</b>	0,17	0,09	<b>C22:0</b>	0,21	0,26
<b>C17:0</b>	0,17	0,14	<b>C22:1</b>	0,00	0,01
<b>C18:0</b>	20,44	21,17	<b>C24:0</b>	0,05	0,02
<b>C18:1</b>	36,96	39,02	<b>C22:4</b>	0,19	0,21

Comparando el perfil de ácidos grasos determinado al aceite de semilla de coroba con otros aceites y grasas comestibles indicados en la tabla 4.5, se puede observar la gran similitud con el aceite de coco y palmiste, ambos poseen mayor proporción de ácido láurico y mirístico, la gran mayoría de los aceites y grasas comestibles tienen un porcentaje alto de ácido oleico, el aceite de semilla de coroba según la cromatografía de gases arrojó un valor para este ácido entre 16 y 17,6%.

El ácido oleico es famoso por sus efectos beneficiosos sobre la salud cardiovascular y hepática. Aumenta el llamado colesterol bueno (HDL) y reduce el colesterol malo (LDL) en sangre, por lo que ejerce una acción beneficiosa sobre el sistema vascular y el corazón, reduciendo así, el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Los aceites que contienen ácido oleico tienen algunas ventajas culinarias, resisten mejor las altas temperaturas que se producen al freír, por lo que son más adecuados para cocinar. Son más estables, se descomponen más lentamente y tienen la importante ventaja de que impregnan menos de grasa los alimentos, por lo que éstos resultan menos calóricos (**Bishop, 2000**). Lo que hace al aceite de semilla de coroba una materia prima para la industria de aceites comestibles así como también para la industria jabonera.

Tabla 4.6 Composición de ácidos grasos de varias grasas y aceites comestibles (Zamora. 2008).

Aceite o Grasa	Proporción Insat./Sat.	Saturada					Mono-insaturada	Poli-insaturada	
		Ácido Cáprico C10:0	Ácido Láurico C12:0	Ácido Mirístico C14:0	Ácido Palmítico C16:0	Ácido Estearico C18:0	Ácido Oleico C18:1	Linoleico (ω6) C18:2	Linolénico (ω3) C18:3
Aceite de almendra	9.7	-	-	-	7	2	69	17	-
Aceite de canola	15.7	-	-	-	4	2	62	22	10
Mantequilla de cacao	0.6	-	-	-	25	38	32	3	-
Aceite de hígado de bacalao	2.9	-	-	8	17	-	22	5	-
Aceite de coco	0.1	6	47	18	9	3	6	2	-
Aceite de maíz	6.7	-	-	-	11	2	28	58	1
Aceite de algodón	2.8	-	-	1	22	3	19	54	1
Aceite de linaza	9.0	-	-	-	3	7	21	16	53
Aceite de semillas de uva	7.3	-	-	-	8	4	15	73	-

<b>Manteca de cerdo</b>	1.2	-	-	2	26	14	44	10	-
-------------------------	-----	---	---	---	----	----	----	----	---

**Tabla 4.6 Composición de ácidos grasos de varias grasas y aceites comestibles (Zamora. 2008). (continuación)**

Aceite o Grasa	Proporción Insat./Sat.	Saturada					Mono-insaturada	Poli-insaturada		
		Ácido Cáprico C:10:0	Ácido Láurico C:12:0	Ácido Mirístico C:14:0	Ácido Palmítico C:16:0	Ácido Estearico C:18:0	Ácido Oleico C:18:1	Linoleico ( $\omega$ 6) C:18:2	Linolénico ( $\omega$ 3) C:18:3	
<b>Aceite de oliva</b>	4.6	-	-	-	13	3	71	10	1	
<b>Aceite de palma</b>	1.0	-	-	1	45	4	40	10	-	
<b>Oleína de palma</b>	1.3	-	-	1	37	4	46	11	-	
<b>Aceite de palmiste</b>	0.2	4	48	16	8	3	15	2	-	
<b>Aceite de cacahuete</b>	4.0	-	-	-	11	2	48	32	-	
<b>Aceite de cártamo*</b>	10.1	-	-	-	7	2	13	78	-	
<b>Aceite de sésamo</b>	6.6	-	-	-	9	4	41	45	-	
<b>Aceite de soja</b>	5.7	-	-	-	11	4	24	54	7	

<b>Aceite de girasol*</b>	7.3	-	-	-	7	5	19	68	1
<b>Aceite de nuez</b>	5.3	-	-	-	11	5	28	51	5

#### 4.1.4 Rentabilidad y comparación de costo de los solventes extractores utilizados

El hexano tienen un punto de ebullición de 69° C, una entalpia de vaporización del 80 Kcal/Kg y una capacidad calorífica de 0,5 cal/g°C. Tiene la capacidad de disolver el gopisol y líquidos polares parcialmente, disolución selectiva del aceite, es estable e inerte frente a superficies metálicas, insoluble en agua, no es toxico y posee una baja viscosidad y densidad. El límite de explosividad del hexano es de: 1,2 a 7,2% en volumen o 3,4 a 18% en peso. Lo que lo hace ser el solvente extractor por excelencia en el proceso de extracción de aceites de semillas, sin embargo presenta la desventaja de ser medianamente costoso Bs. 220,00 por litro.

El éter de petróleo la fracción de punto de ebullición se encuentra en el rango de 30 a 120 °C, está compuesto principalmente de pentano y hexano, es selectivo para mas lípidos y es hidrofóbico, cabe resaltar que el rango del éter utilizado durante los análisis fue de 55 a 70 °C. El éter de petróleo es mucho más costoso que el hexano (Bs. 320,00 por litro), es un compuesto altamente volátil por lo que representaría mayor pérdida de solvente en proceso de extracción de aceites, en la tabla 4.7 se puede observar la tabla comparativa.

Por último la acetona presenta el punto de ebullición cercano al hexano de 53,3 °C por lo que es menos volátil que el éter de petróleo, pero con mayor volatilidad que el hexano, cuenta con la ventaja de presenta el menor precio de los tres Bs 140,00 por litro pero es un solvente polar por lo que su selectividad

hacia los componentes del aceite no es tal alta como la del hexano y éter de petróleo (Mehlenbacher, 1970).

**Tabla 4.7 Lista comparativa de precios de acuerdo con la volatilidad del solvente.**

<b>Solvente</b>	<b>Volatilidad (°c)</b>	<b>Precio/litro (Bs/L)</b>
<b>Acetona</b>	53,3	140
<b>Hexano</b>	69	220
<b>Éter de petróleo</b>	55 - 70	320

## 4.2 Conclusiones

1. El porcentaje de rendimiento obtenido con el éter de petróleo fue relativamente mayor que con el uso de hexano y acetona.
2. El porcentaje de rendimiento obtenido para la extracción del aceite de la semilla de la palma Coroba es mucho mayor comparado con la bibliografía de los aceites de soja, borraja, girasol, colza y neem.
3. El éter de petróleo posee mayor selectividad hacia los lípidos presentes en la semilla de la palma coroba.
4. Los índices de acidez, peróxido y yodo son estadísticamente semejantes para los aceites extraídos con los tres solventes diferentes de acuerdo con el método ANOVA.
5. El índice de acidez del aceite de semilla de coroba se encuentra muy cercano al valor requerido para un aceite refinado.
6. El bajo índice de peróxido del aceite de la semilla de coroba indica un bajo grado de rancidez oxidativa, estando este valor en el rango requerido para los aceites comestibles.
7. El valor obtenido en el índice de yodo del aceite de la semilla de coroba, los hace ser considerado como materia prima para biosiesel.
8. El aceite de semilla de coroba posee mayor proporción de ácido láurico siendo la acetona más selectiva hacia este ácido graso.
9. El hexano y éter de petróleo tienen mayor afinidad hacia las cadenas medianamente largas de los ácidos grasos presente en la semilla de palma coroba.

10. El aceite de la semilla de la palma coroba cuenta con cualidades semejantes al aceite de coco y palmiste.
11. El aceite de la semilla de la palma coroba esta constituido por una proporción considerable de acido oleico, semejante a la mayoría de las grasas y aceites comestibles.
12. El aceite de la semilla de palma coroba puede ser considerado como una materia prima para la industria jabonera y de aceites comestibles.

#### **4.3 Recomendaciones**

1. Cuantificar la cantidad de solvente recuperado en cada corrida en la extracción del aceite de semilla de coroba mediante la aplicación del método Soxleth.
2. Profundizar los estudios referentes a la composición lipídica de los aceites de semilla de coroba obtenidos por el método de extracción Soxhlet, con el fin de establecer su efecto en reacciones de isomerización cis-trans.
3. Impulsar las investigaciones agronómicas con el fin de garantizar la domesticación de esta palmera al proceso de desarrollo endógeno.
4. Determinar la composición de aminoácidos presentes en las proteínas de la semilla de coroba.
5. Determinar el índice de saponificación y materia insaponificable de aceite extraído mediante el uso de la acetona, hexano y éter de petróleo.



## BIBLIOGRAFIA

1. Abbott. **“Introducción a la Cromatografía”**. editorial Alambra S.A. segunda edición española año 1970.
2. Aceites y grasa vegetales, **“Determinación del grado de Acidez”**, tercera revisión, norma Venezolana COVENIN 325, (2001).
3. Aceites y grasa vegetales, **“Determinación del Índice de Peróxido”**, norma Venezolana COVENIN 508, (1997).
4. Aceites y grasa vegetales, **“Determinación del índice de Saponificación”**, norma Venezolana COVENIN 323, (1998).
5. Aceites y grasa vegetales, **“determinación del índice de Yodo”**, norma Venezolana COVENIN 324, (2001).
6. Badui, **“Química de los alimentos”**. Editorial Long Mang de México,. México (1997).
7. Bastardo y zorrilla., **“Extracción, análisis y refinamiento físico y química del aceite del mesocarpio de la coroba (Jessenia policarpa)”**, trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. (2000).
8. Bernardini, **“Tecnología de aceites y grasas”**. Editorial Alambra. España. Año 1981.
9. Bishop, **“Pollution Prevention: Chapter 2 - Properties and Fates of Environmental Contaminants”**. Año 2000
10. Briley, **“Aceites y grasas industriales”**. Segunda edición Reverte, S.A España (1984).
11. Cartay y Ablan., **“Diccionario de alimentos y Gastronomía en Venezuela”**. Fundación Polar. Primera edición. Caracas (1997).

12. Chavez y Maury. **“Extracción y caracterización del aceite de poraqueiba serícea tulasne (umari)”**. Año 2002.
13. Denke, Grundy, **“Comparison of effects of lauric acid and palmitic acid on plasma lipids and lipoproteins”**. Am J Clin Nutr. Año 1992.
14. Devlin, **“Bioquímica”**, 4ª edición. Reverté, Barcelona, España. Año 2004.
15. Donatelle, **“Health, The Basics”**. 6th Edición. San Francisco: Pearson Education, Inc. 2005.
16. Fennema, **“Química de los alimentos”**, Editorial Acribia, España (1993).
17. Hernández, Condell, Izquierdo, Sanabia, **“Extracción de lípidos de las semillas de Cucurbita pepo L. (calabaza)”**. Año 2008.
18. Hernández, **“Desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos basados en el uso de líquidos iónicos, fluidos supercríticos y tecnología de membranas”**, Universidad de Murcia año 2008.
19. Hoffman, Han, Dawson, **“Antimicrobial effects of corn zein films impregnated with nisin, lauric acid, and EDTA”**. Año 2001.
20. King, **“Advances in critical fluid technology for food processing. Food Science and Technology Today”**. Año 2000.
21. Lafont, **“Extracción y Caracterización Físicoquímica del Aceite de la Semilla (Almendra)”**, Información Tecnológica Vol. 22 N° 1 – 2011.
22. [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_graso](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_graso) - cite\_ref-1 Lehninger, **“Curso breve de Bioquímica”**. Omega, Barcelona, Año 1976.
23. Marín y Moreno., **“Evaluación de la estabilidad del aceite de la almendra del fruto de la palma Coroba (Jessenia policarpa)”**, trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. (2003).

24. Mata, Álvarez, Rubio, Nuño y De Oya, **“Effects of long term monounsaturated versus polyunsaturated enriched diets on lipoproteins in healthy men and women”**. Am J Clin Nutr. Año 1992.
25. Mata, Garrido, Ordovás, Blázquez, Álvarez y Rubio, **“Effect of dietary monounsaturated fatty acids on plasma lipoproteins and apolipoproteins in women”** Am J Clin Nutr. Año 1992.
26. Mayoral, **“Empleo de disolventes alternativos”**, publicación en Internet: [www.unia.es/nuevo\\_inf\\_academica/bisualizar\\_file\\_adjunto.asp](http://www.unia.es/nuevo_inf_academica/bisualizar_file_adjunto.asp). Año 2007.
27. McNair y Mille, ***Basic Gas Chromatography***. Canada: John Wiley & Sons, Inc. Año 1998.
28. Mehlenbacher. **“Análisis de Grasas y Aceite”** Babad, Urmo. Año 1970.
29. Mensink, **“Effects of individual saturated fatty acids on serum lipid and lipoprotein concentration”**. Am J Clin Nutr. Año 1993.
30. Minowa, Yokoyama, Kishimoto, Okakurat, **“Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction”**, J Fuel. Año 1995.
31. Molina, Robles, Giménez, Sánchez, García y García, **“Comparison between extraction of lipids and fatty acids from microalgal biomass”**, J Am Oil Chem Soc 71, 955-959 (1994).
32. Oliver., **“Estracción y análisis del aceite de la almendra del fruto de la palma Coroba (*Jessenia polycarpa* Karts) utilizando como solvente dióxido de carbono”**, trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. (2004).
33. Pino y Jiménez., **“Obtención del aceite refinado a partir de la semilla de la coroba (*Jessenia polycarpa*) y su posible aprovechamiento”**

- industrial**”, trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Química, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. (2000).
34. Ranquen, “**Manual de industria de los alimentos**”. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (1993).
  35. Restrepo, “**Disolventes Alternativos**”. Inpra Latina; (Edición digital Vol.13 N°5 Septiembre/Octubre 2008)
  36. Rodríguez y Silva., “**Análisis de factibilidad económica de industrialización de la Coroba**”, tesis de Grado, Facultad de ingeniería Industrial, UC Valencia (1981).
  37. Romero y Vargas. “**Extracción del aceite de la semilla de neem (Azadirachta indica)**”. Universidad de Carabobo. Naguanagua. Venezuela año 2005.
  38. Salazar, Belen, Jimenez y Pino “**Características Físicoquímicas del aceite de la semilla de la coroba (Jesenia polycarpa Karst)**”. Grasas y Aceites 55 (4):423 – 427 (2004)
  39. Sánchez y Barrera, “**Extracción y Caracterización Físicoquímica del Aceite Obtenido de nueces del Fruto de Aguirre (Couepia dolichopoda Prance) en la Zona de Planicie Amazónica, Municipio de Solano-Caquetá**”. Año 2001.
  40. Spiegel, Schiller, “**Análisis de la varianza**». **Probabilidad y Estadística** [Schaum's Outline of Theory and Problems of Probability and Statistics]. Schaum (2ª edición). México D.F.: McGraw-Hill. (2007).
  41. Stahl, Schutz and Mangold. “**Extraction of seed oils with liquid and supercritical carbon dioxide**”—J. Agric. Food Chem. Año 1980
  42. Tejedor, “**Análisis de varianza. Schaum**”. Madrid: La Muralla S.A. Año 1999.

43. Vera y Brito., **“Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite del mesocarpio de la Coroba (Jessenia polycarpa Karts) utilizando dióxido de carbono en condiciones supercríticas”**, trabaja de grado para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz. **(2003)**.
44. Zamora. **“<http://www.scientificpsychic.com/fitness/aceites-grasas1.html>”**. Año 2008
45. Ziller, **“Grasa y aceites Alimentarios”**, Editorial Acribia S.A, España **(1996)**

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

<b>TÍTULO</b>	<b>“Evaluación de la aplicación de diversos solventes en la obtención del aceite de la semilla de coroba (Attalea macrolepis).”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

AUTOR (ES):

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CVLAC / E MAIL</b>
<b>Gutierrez Maza, Xiomara Milagros</b>	CVLAC: V- 15.933.485 EMAIL: xiomigutierrez@hotmail.com
<b>Zapata Barrera, Jaigimar del Coromoto</b>	CVLAC: V- 18.212.589 EMAIL: @gmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

**Aceites y grasas**

**Palma Coroba**

**Métodos de extracción**

**Análisis químico del aceite**

**Ácidos grasos**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>ÁREA</b>	<b>SUB ÁREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

**RESUMEN (ABSTRACT):**

Se realizó la extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de semilla de coroba. La extracción se llevó a cabo por medio del método Soxhlet, con el uso de tres solventes diferentes acetona, hexano y éter de petróleo, seleccionados por sus propiedades no polares y solubilidad con los lípidos presente en las semillas. Los aceites obtenidos se sometieron a análisis para determinar el índice de acidez, índice de peróxido e índice de yodo, los resultados no mostraron diferencias significativas entre el aceite extraído con los diferentes solventes. El índice de acidez promedio para la acetona arrojó como resultado 0,31117, para el hexano y éter de petróleo 0,3235 y 0,3059 respectivamente, siendo estos resultados estadísticamente semejantes entre si de acuerdo con el método del ANOVA. De la misma forma al aceite extraído se le realizó una cromatografía de gases, para determinar el perfil de ácidos grasos encontrándose ácido láurico en mayor proporción, para la acetona se obtuvo 42,2% mientras que para el hexano y éter de petróleo se obtuvo 35,8% y 36,6% respectivamente, lo que permitió inferir que la acetona posee mayor afinidad por los ácidos grasos de cadenas más cortas, debido a que en el caso de los ácidos grasos de cadenas medianamente largas hubo mayor arrastre por parte de hexano y éter de petróleo, el mismo fenómeno se pudo observar al hacer la comparación con la extracción del aceite de la semilla de neem por medio del método Soxhlet con el uso de hexano y éter de petróleo.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
<b>Alemán, Rafael</b>	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:	V-			
	E_MAIL	@.com			
<b>Cova, Alexis</b>	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:	V-			
	E_MAIL	@.com			
<b>Rodríguez, Justa</b>	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:	V-			
	E_MAIL	@.com			

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2011</b>	<b>08</b>	<b>05</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
<b>Tesis.Evaluación_aplicacióndiversossolventes_obtención_aceitesemilladecoroba.doc</b>	<b>Aplicación/msword</b>

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I  
J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y  
z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:(OPCIONAL)**

**TEMPORAL:(OPCIONAL)**

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Ingeniero Químico**

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Pregrado**

**ÁREA DE ESTUDIO:**

**Departamento de Ingeniería Química**

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui**



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

**“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo al Consejo Universitario respectivo, para su aprobación.”**

**Xiomara Milagros Gutiérrez Maza**

AUTOR

**Jaigimar del Coromoto Zapata Barrera**

AUTOR

**Lic. Rafael Alemán**

TUTOR

**Ing. Justa Rodríguez**

JURADO

**Ing. Alexis Cova**

JURADO

**Prof. Yraima Salas**

POR LA SUBCOMISION DE TESIS